Anat. 279 ua

Ludwig

LEHRBUCH

DER

PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN

VON

C. LUDWIG

IN WIEN.

ERSTER BAND.

PHYSIOLOGIE DER ATOME, DER AGGREGATZUSTÄNDE, DER NERVEN UND MUSKELN.

ZWEITE NEU BEARBEITETE AUFLAGE.

LEIPZIG & HEIDELBERG,

C. F. WINTER'SCHE VERLAGSHANDLUNG.

1858.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Verfasser und Verleger behalten sich das Recht der Uebersetzung
in fremde Sprachen vor.

DEN FREUNDEN

E. BRÜCKE, IN WIEN **E. du BOIS-REYMOND,** IN BERLIN **H. HELMHOLTZ** IN BONN

GEWIDMET.

INHALT.

Seite

Einleitung 1

Erster Abschnitt.

Physiologie der Atome 16

Zweiter Abschnitt.

Physiologie der Aggregatzustände 59

Dritter Abschnitt.

Physiologie des Nervensystems 85

I. Allgemeine Nervenphysiologie 85

A. Physiologie der Nervenröhren 85

B. Ganglienkörper 147

II. Besondere Nervenphysiologie 150

A. Rückenmark und Rückenmarksnerven 150

B. Hirn und Hirnnerven 187

C. Sympathischer Nerv 213

D. Gesichtssinn 226

E. Gehör 354

F. Geruchssinn 382

G. Geschmackssinn 388

H. Gefühlssinn 394

Vierter Abschnitt.

Physiologie des Muskelsystems 419

I. Allgemeine Muskelphysiologie 419

A. Physiologie der quergestreiften Muskelröhre 419

B. Physiologie der muskulösen Faserzelle 474

Seite

II. Besondere Muskelphysiologie 478
A. Verknüpfung der Muskeln mit den Nerven 479
B. Das Skelet mit seinen Muskeln 490
C. Stimm- und Sprachwerkzeuge 559
Stimme 559
Sprache 584

Fünfter Abschnitt.

Physiologie der Seelenorgane 592
Organe der Empfindung 592
Willkürliche motorische Erregung 599
Sitz der Seele 605
Schlaf. Traum 610

LEHRBUCH

DER

PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN.

Einleitung.

Aufgabe. Die wissenschaftliche Physiologie hat die Aufgabe die Leistungen des Thierleibes festzustellen und sie aus den elementaren Bedingungen desselben mit Nothwendigkeit herzuleiten.

Nahebei alle Leistungen, welche von irgend einem thierischen Wesen ausgehen, so mannigfaltig sie nach ihrer specifischen Erscheinung, nach ihrer räumlichen Verbreitung, nach ihrem absoluten Werth und nach der Zeit, in der sie vor sich gehen, ausfallen, sind doch darin übereinstimmend, dass zu ihrer Erzielung jedesmal eine grössere Zahl von Bedingungen zusammengreift.

Unterwirft man in der That von diesem Gesichtspunkt aus die scheinbar einfachste Lebensäusserung, z. B. die Beugung eines Fingergliedes der Untersuchung, so gewahrt man bald, dass der Anstoss zur Bewegung nicht vom Finger, sondern von einem mit ihm durch die Sehne in Verbindung stehenden Muskel ausgeht, indem sich die Aufmerksamkeit auf diesen wendet, gewahrt dieselbe, dass die von ihm ausgehende Leistung resultirt aus der Wirkung vieler gleichartiger Gebilde, der sogenannten Muskelröhren; eine genaue Zergliederung zerspaltet diese wiederum in die verschiedenartigsten Bestandtheile und gelangt dadurch dahin den Muskelcylinder als Zusammenordnung von trägen mit leicht veränderlichen Bestandtheilen aufzufassen; in diesen letztern entdeckt sie darauf Theilchen von endlicher aber ausserordentlich geringer Grösse, durch deren wechselnde Anziehungen die Bewegungen im Muskel erzeugt werden; aber auch diese kleinsten Theilchen sind wieder zerlegbar in chemische Atome, electrische Flüssigkeit und Lichtäther, Wesen, welche endlich den zerlegenden Mitteln, über die die Wissenschaft heute gebietet, unbesiegbaren Widerstand leisten. Da wir aber die Bewegung nicht unmittelbar an den Muskelmolekeln, und nicht einmal an der Muskelscheide, den Sehnen, dem Periost, sondern an dem Finger beobachten, so ist mit obiger Betrachtung nur eine Seite unserer Erscheinung zergliedert, nämlich diejenige, welche die Ursache der Bewegung überhaupt enthält. Denn indem sich die Bewegung auf primäre und secundäre Scheide, Sehnen, Knochen u. s. w. überträgt, erfährt sie Widerstände, die von der Steifigkeit, Elasticität, Form u. s. w. dieser Theile abhängig sind; alle diese Erscheinungen sind aber selbst wieder Folge sehr complicirter Veranstaltungen, die ebenfalls erst sämmtlich in ihre Elemente zerlegt werden müssen, wenn die Auflösung jener Lebensäusserung vollendet sein soll.

Elementare Bedingungen. So oft nun eine Zergliederung des thierischen Körpers geschah, so oft stiess man schliesslich auf eine begrenzte Zahl chemischer Atome und auf Erscheinungen, die durch die Annahme des Lichtäthers und der Electricitäten erklärlich sind. Dieser Erfahrung entsprechend zieht man den Schluss, dass alle vom thierischen Körper ausgehenden Leistungen eine Folge der einfachen Anziehungen und Abstossungen sein möchten, welche bei einem Zusammentreffen jener elementaren Wesen beobachtet werden. Diese Folgerung wird unumstösslich, wenn es gelingt mit mathematischer Schärfe nachzuweisen, es seien die erwähnten elementaren Bedingungen nach Richtung, Zeit und Masse im thierischen Körper derartig geordnet, dass aus ihren Gegenwirkungen mit Nothwendigkeit alle Leistungen des lebenden und todten Organismus herfliessen.

Die vorliegende Auffassung ist, wie allbekannt, nicht die hergebrachte, sie ist diejenige unter den neuern, welche man als eine besondere gegenüber der vitalen mit dem Namen der physikalischen bezeichnet. — Diese Anschauung findet abgesehen von allen Besonderheiten ihre Berechtigung in der unumstösslichen Anforderung der Logik, dass einer jeden Folge eine Ursache zu Grunde liege, und nächstdem in der bewährtesten Regel aller Erfahrungswissenschaften, dass man nur die unumgänglich nothwendigen Erklärungsgründe herbeiziehe. Sie bestreitet also die Berechtigung zur Aufstellung neuer Erklärungsgründe, so lange die Unzulänglichkeit der einfachern nicht dargethan ist; und sie thut dieses um so entschiedener, wenn jene Gründe wie z. B. der Nervenäther, die vegetative Seele u. s. w. eigends erfunden worden sind, um dieses oder jenes dunkle Phänomen zu erklären, ohne dass irgend ein anderer Beweis für das Bestehen jener Wesen vorliegt und, ohne dass jene besonders erfundenen Erklärungsgründe strengen Anforderungen Genüge leisten, was z. B. in so hohem Grade mit dem Lichtäther der Physiker der Fall ist. Geschähe aber dieses, so würde unsere Anschauungsweise sich niemals gegen eine solche Hypothese sträuben, möchte der Erklärungsgrund auch noch so neu und unerhört sein. — Die Vertheidigung dieser Grundsätze siehe in einer ebenso gedankenreichen als edelgeformten Betrachtung bei du Bois, thierische Eletricität, 1. Bd. Vorrede.

Vielfachheit der Leistungen durch die gegebenen elementaren Bedingungen. Wenn sich nun auch nicht durch Erfüllung der obigen Forderung das allein Zureichende der physikalischen Auffassung darthun lässt, so steht wenigstens fest, dass ihre Erklärungsgründe bei aller Beleuchtung eines jeden lebendigen Vorganges mit in Betracht gezogen werden müssen, weil sie nun einmal erfahrungsgemäss bestehen. Daneben ist es aber wahrscheinlich, dass dieselben zur Aufstellung einer Theorie der Lebenserscheinungen allein genügen, weil sie, so vielfach und wirksam wie sie sind, vollkommen ausreichen, um den Reichthum der Lebenserscheinungen bedingen zu können.

1) Leistungen der formlosen Elemente. — Vermöge der zwischen gleichartigen und ungleichartigen wägbaren Atomen bestehenden Anziehung kommt es zur Bildung von endlichen Massen; je nach der Innigkeit mit der in diesen die Atome aneinander haften, stellen sie ein Baumaterial vor, verschieden an Dichtigkeit, Festigkeit und Elastizität. Erfahrungsgemäss stellt sich nun aber eine jede Masse mit besonderer Anordnung ihrer wägbaren Theile eigenthümlich zum Lichtäther und den Electrizitäten, Beziehungen, die sich offenbaren durch spezifische electromotorische Kräfte und electrisches Leitungsvermögen, durch die Besonderheiten der Farbe, des Brechungsvermögens, der Durchsichtigkeit, der Wärmeleitung, Erscheinungen, welche, insoweit sie überhaupt eine Erklärung zulassen, auf eine veränderte Dichtigkeit des Lichtäthers innerhalb des von der Masse umschlossenen Raumes, theils aber auf eine verschiedene Beweglichkeit der Atome unter dem Einfluss der Aetherschwingung hindeuten. — Die zwischen den ungleichartigen Atomen bestehende Anziehung führt zur chemischen Verbindung. Selbst zwischen einer geringen Zahl von Elementen kann die Menge der verschiedenen möglichen Verbindungen sehr gross sein, weil es zulässig ist, dass sich nicht allein das Atom des einen Elements mit dem Atom des andern verbindet, sondern dass sich auch 1 Atom einer Art mit einer Gruppe von solchen einer andern (einem complizirten Atom) und Gruppen mit Gruppen verbinden können. — Nun sind wie natürlich die Verbindungen verschiedener Atomzahlen in ihren Eigenschaften abweichend von einander, darum sind aber nicht die Verbindungen gleicher Atomzahlen gleichartig geeigenschaftet; denn auf die Entwicklung jener ist auch die Richtung, welche die Anziehungen innerhalb der complizirten Atome besitzen, von Einfluss. Erinnert man sich nun noch, dass die Menge der gebundenen Wärme und der gebundenen Electrizitäten (?) einen wesentlichen Theil an der Erzeugung der Eigenschaften nimmt, so ergibt sich, dass schon Verbindungen derselben Elemente bei unveränderter Atomzahl eine Schaar ganz verschiedener Körper darzustellen vermögen, um wie viel grösser werden also die möglichen Mannigfaltigkeiten sein, die durch die Verbindung gleicher Elemente von verschiedener Atomzahl oder gar die Verbindungen verschiedener Elemente bei stets wechselnder Atomzahl erreichbar sind.

Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungsweise chemischer Verbindungen, so unendlich sie nun auch ist, kann für unsere Zwecke unter zwei Kategorieen zusammengefasst werden, von denen die

eine alle diejenigen complizirten Atome umfasst, welche unter gegebenen Bedingungen keine Verwandtschaften zu andern Verbindungen oder Elementen besitzen, während in der zweiten die mit Verwandtschaft begabten enthalten sind.

Beim Hervorheben dieses Unterschiedes muss man der Thatsache eingedenk bleiben, dass die chem. Verwandtschaft eines Elementes eben sowohl wie eine Verbindung mehrer derselben keineswegs allein bestimmt wird durch die Art oder Zahl der wägbaren Atome. Denn es ist von einzelnen Elementen, z. B. dem Sauerstoff, Phosphor und von unzähligen Verbindungen bekannt, dass sie bald mit lebhaften und bald mit gar keinen Verwandtschaften begabt sind. Wenn also in keinem Fall die berührte Eigenschaft eine mit den Atomen an und für sich gegebene ist, sondern zu ihrer Erzeugung mehrere Umstände zusammentreten müssen, so ist es auch erlaubt zu sagen, die chem. Verwandtschaft sei eine Resultirende, aus bestimmten mit gewissen Richtungen und Stärken zur Gegenwirkung kommenden Componenten. Dieser Ausdruck passt namentlich insofern mit voller Uebereinstimmung auf die aus der Atomverknüpfung hervorgegangene Verwandtschaft, als hier wie dort aus den mannigfachsten Einzelkräften dieselben, und umgekehrt aus denselben Einzelkräften die verschiedensten Gesammtwirkungen, erwachsen, je nach der Ordnung, in der die ersteren zusammentreten. Diesem Bilde gemäss würden die indifferenten Stoffe solche sein, deren als Verwandtschaft aufzufassende Resultirende Null wäre, während die Resultirende der mit Verrwandschaft begabten einen endlichen Werth besässe.

Wir wenden nun unsere Aufmerksamkeit auf die letzten Stoffe; hier begegnen wir sogleich der Erfahrung, dass, so mannigfache Modificationen die Verwandtschaft auch erfährt, dennoch gewisse, allgemeine Aeusserungen derselben wiederkehren, die wir durch die Bezeichnung Säuren, Basen u. s. w. u. s. w. zusammenfassen. Nach dem so eben aufgestellten Begriffe kann es nicht auffallen, dass durch Combination derselben Elemente sowohl Säuren als Basen u. s. w. erzeugbar sind, aber überraschend wirkt es, in welchem ausgedehnten Maasstab es namentlich dem C, H und O theils für sich, theils in Verbindung mit Stickstoff und einigen der negativen Metalle (Arsenik, Antimon, Wismuth u. s. w.) gelingt, ganze Reihen von Verbindungen, die einer der erwähnten Gruppen angehörig sind, zu bilden, so dass die aus ihnen hervorgehenden Combinationen eine reiche chemische Welt für sich bilden. — Die Wissenschaft

kann noch keine Rechenschaft darüber geben, durch welche Besonderheit gerade jene im thierischen Körper so reichlich vertretenen Elemente diese Befähigung erhielten, und ebensowenig wie die gegenseitigen Anziehungen der Atome gestaltet sein müssen, dass ihre Verbindung der einen oder andern verwandtschaftlichen Gruppe angehöre, oder dass complexe Atome die Rolle der Elemente anzunehmen im Stande sind, so dass es möglich wird in einer Verbindung die Elemente durch diese Complexe zu ersetzen, und demnach selbst bei immer höherer und höherer Complikation der elementevertretenden Stoffe verwandtschaftlich gleichwerthige Körper zu erzeugen. So übernimmt z. B., wie Löwig in einer meisterhaften Untersuchung erwiesen hat, das Methyl und Aethyl die Rolle des H, und bildet dann zu 2, 3, 4 Atom, wie der H mit Antimon, Wismuth u. s. w., Verbindungen, die analog den gleichen Verbindungen des H mit N zu Ammonium, zu Basen werden, und sich in ihren Verwandtschaftserscheinungen von Ammonium und Kali durchaus nicht mehr unterscheiden lassen; dasselbe findet sich in den von Hoffmann in so ausgezeichneter Weise verfolgten Wurz'schen Stoffen, welche die dem NH, NH_2, NH_3, NH_4 entsprechenden Aethyl- und Methyl- u. s. w. Verbindungen darstellen. Gleichgiltig wie die Verwandtschaften möglich und erreicht sind, ihre Folgen für die im thierischen Körper erscheinenden Prozesse sind von fundamentaler Wichtigkeit; um sie übersehen zu können, scheiden wir sie in chemische und dynamische.

A. Chemische Folgen. Diese sind von wesentlich verschiedener Bedeutung, je nachdem die Stärke der Verwandtschaft zwischen den sich gegenübertretenden Stoffen genügt oder nicht genügt, um eine Aenderung in der atomistischen Gruppirung einzuleiten. Im letztern Falle sehen wir als einen Ausdruck der bestehenden Anziehung die Adhäsion an, die in einer besondern Gestalt zur Lösung wird; als den der bestehenden Abstossung aber die deprimirende Capillarität, die Niederschläge u. s. w. Leitet nun aber die Verwandtschaft eine Umänderung in der atomistischen Constitution ein, so werden durch die hierbei obwaltenden Anziehungen entweder die beiden Stoffe ohne vorgängige Zerlegung nach stöchiometrischen Verhältnissen verbunden; oder es vereinigen sich alle oder einzelne ihrer constituirenden Theile nach vorausgegangener Zerlegung der complizirten Verbindung; oder endlich es zerfallen die mit Verwandtschaft begabten Stoffe in andere Gruppen, ohne dass diese Neubildungen Verbindungen unter einander eingehen. — Wenn man

diese vielfachen Möglichkeiten übersieht, so wird es begreiflich, dass in dem Thierleib, welcher so zahlreiche und complizirte Atome enthält, nicht allein unter den Umständen, welche überhaupt eine chemische Bewegung gestatten, eine fast in's Unendliche gehende Zahl von Umsetzungen erscheinen muss, bis zwischen allen Stoffen das chemische Gleichgewicht hergestellt ist, sondern dass auch mit ganz einfachen Veränderungen, wie z. B. in den quantitativen Verhältnissen der anwesenden Stoffe, oder je nach der zeitlichen Reihenfolge, in der die einzelnen Gegenwirkungen eintreten, die zwischen dem Beginn und dem Ende der möglichen Zersetzungen liegenden Glieder sehr mannigfaltige von einander ganz abweichende werden können.

B. Dynamische Folgen. Hierunter begreifen wir die über die Berührungsstellen wägbarer Atome hinauswirkenden Anziehungen und Abstossungen, welche in Folge der Umsetzung und Verbindung chemischer Stoffe zum Vorschein kommen. Durch diese in grösserer Entfernung ausgeübten Wirkungen, werden die angezogenen und abgestossenen Massen in Bewegungen versetzt, Bewegungen, welche sich auf andere ursprünglich indifferente Stoffe übertragen können. Als Ursache dieser Anziehungen sehen wir im thierischen Körper erfahrungsgemäss die Wärme und die Electrizitäten an.

a. Wärme. Mit diesem Worte bezeichnet man, wie es scheint, sehr verschiedene Dinge. α) Die freie, übertragbare Wärme; diese besteht entweder als strahlende Wärme, die wir bekanntlich als eine Wellenbewegung des sogenannten Lichtäthers aufzufassen gezwungen sind, oder als geleitete Wärme, welche wahrscheinlich in nichts anderem, als einer eigenthümlichen Bewegung der wägbaren Masse besteht, die vom Lichtäther auf sie übergegangen ist. — β) Die gebundene Wärme; eine grössere Reihe von spezifischen Zuständen der Masse, wie namentlich der flüssige und gasförmige Aggregatszustand, die metallischen Eigenschaften, zahlreiche atomistische Verbindungen u. s. w. entstehen nur unter der Beihilfe der Wärme, und zwar in der Art, dass, wenn ein Stoff aus irgend welchem andern (dem festen, dem oxydirten u. s. w.) in einen der bezeichneten (den flüssigen, den metallischen u. s. w.) Zustände übergeführt werden soll, jedesmal eine ganz bestimmte Menge von freier Wärme zum Verschwinden gebracht wird. Diese Stoffe entwickeln nun, wenn sie aus dem letzten Zustande wieder in den erstern zurückgeführt werden, abermals die Wärmemenge,

welche sie beim Eintritt in denselben zum Verschwinden gebracht hatten. Da diese Stoffe demnach je nach Umständen Wärme entwickeln und vernichten, so huldigte man der Vorstellung, es möchte diese Wärme als ein besonderer Stoff im gebundenen Zustande in ihnen vorhanden sein. Seit man nun aber den Beweis dafür geführt hat, dass die freie Wärme weder im geleiteten noch im strahlenden Zustande einem besonderen Stoffe ihren Ursprung verdankt, ist jene Annahme verwerflich. Zur Erläuterung der, unter dem Namen der latenten Wärme, zusammengestellten Thatsachen bleiben demgemäss nur zwei Vorstellungen übrig; nach der einen wird die Bewegung, welche wir Wärme nennen, benutzt, um verwandtschaftliche Kräfte, welche gewisse Atome zusammenbinden, zu überwinden; die durch diese Widerstände vernichtete Bewegung würde aber wieder zum Vorschein kommen, wenn jene getrennten Stoffe von Neuem ihren verwandtschaftlichen Strebungen Folge geben, so dass der Akt der Verbindung jener Atome mit besonderer Bewegung verknüpft wäre. — Nach der andern Vorstellung *) wird die gebundene Wärme als eine zwischen oder innerhalb der Atome befindliche Bewegung aufgefasst. Diese Bewegung würde den Stoffen durch die zum Verschwinden gebrachte Wärme mitgetheilt; aus dieser Bewegung träten die Stoffe wieder in die Ruhe ein, wenn sie ihre latente Wärme durch einen Eingang in eine neue Verbindung abgeben. Ob diese oder jene Annahme die richtige, oder gar ausschliesslich die richtige sei, ist noch nicht entschieden worden. — Gleichgiltig aber wie diese Alternative entschieden werden mag, so viel steht fest, dass die wärmeentwickelnden Umsetzungen immer nur in Folge von wärmevernichtenden stattfinden können und dass niemals bei der ersten Umsetzung mehr Wärme entwickelt wird, als bei der zweiten verloren gegangen war **).

Der thierische Körper setzt sich nun vorzugsweise aus wärmetragenden Stoffen zusammen, und die Umsetzungen, welche diese Stoffe erleiden (meist Oxydationen), sind wärmeentwickelnde. — Die Folgen dieser Wärmeentwicklung könnten sehr eingreifend werden; so könnte u. A. die frei gewordene Wärme zur Bewegung wägbarer Massen und damit als mechanische Triebkraft benutzt werden. Nach unseren gegenwärtigen Einsichten erfährt jedoch die Wärme diese Anwendung im thierischen Körper wenigstens nicht unmittelbar, wohl

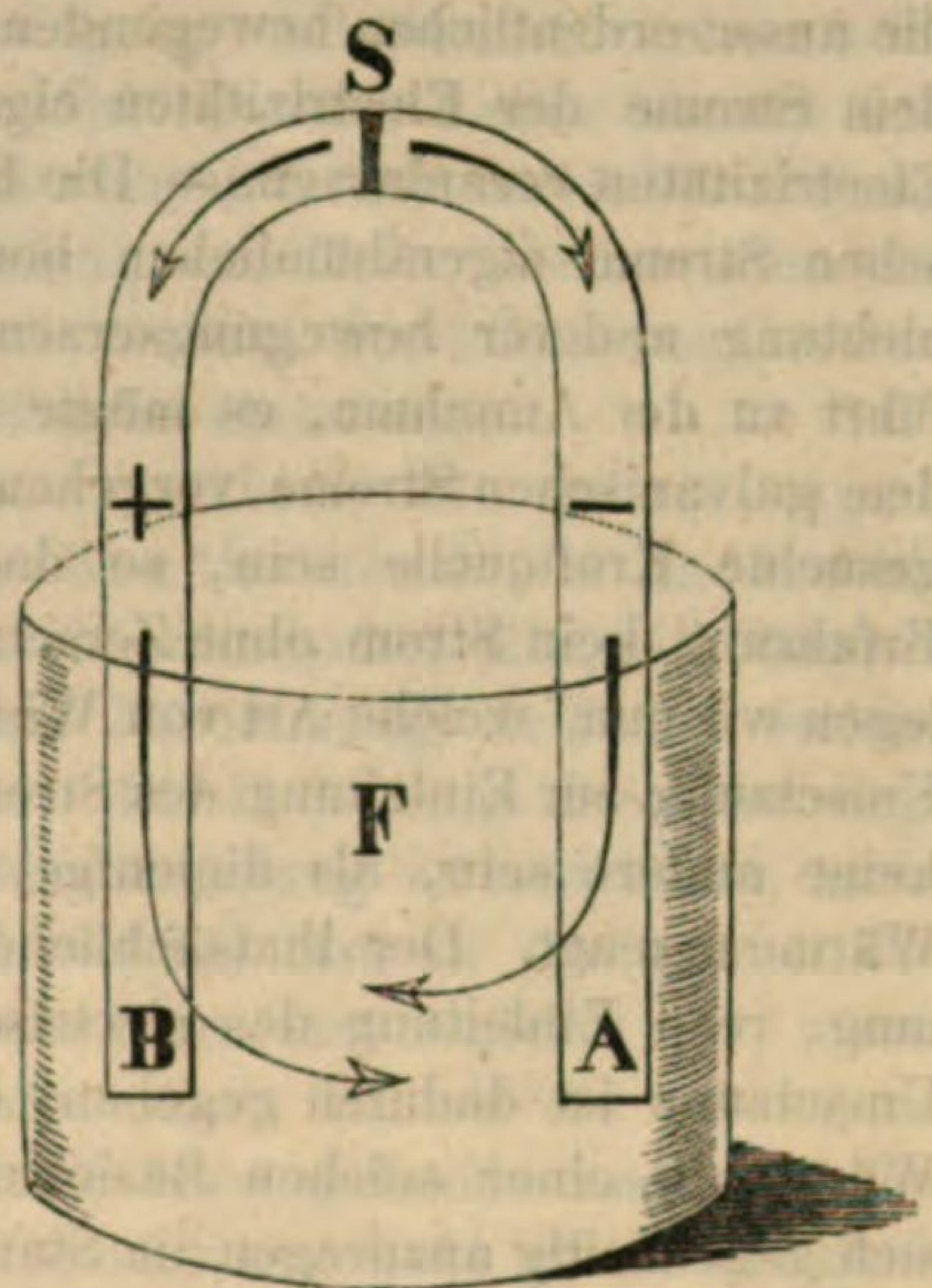
*) Ad. Fick. Poggendorf's Annalen. 91 Bd. S. 287.

**) Woods. Giesser Jahresbericht über 1851 p. 23.

aber dürfte es oft vorkommen, dass sich eine sichtbare Bewegung (durch Reibung u. s. w.) in Wärme verwandelt. — Weiterhin aber wird die entwickelte Wärme von Bedeutung als eine verwandschaftserzeugende Bedingung, indem unter ihrem Einfluss Sauerstoffverbindungen, Gährungen u. s. w. erscheinen, die ohne sie nicht stattfinden würden.

b. Electrizitäten. Die electrischen Erscheinungen leiten wir entweder von dem Vorhandensein zweier besonderer gewichtloser Flüssigkeiten oder überhaupt von zwei besondern Zuständen der Materie ab. Die Electrizitäten erscheinen entweder neutral, d. h. in einer so innigen gegenseitigen Durchdringung, dass nirgends eine räumliche Trennung der beiden verschiedenen Electrizitäten nachgewiesen werden kann, oder getrennt, d. h. in einer solchen Lagerung, dass der positive oder negative Zustand auf räumlich geschiedenen Orten vorkommen. In dieser letzteren Anordnung treten die Electrizitäten entweder ruhig (gespannt) oder bewegt auf, und in ihm sind sie zugleich einzig und allein vermögend, den wägbaren Stoffen Bewegung mitzutheilen. — Damit die ruhige Electrizität Bewegung einleiten könne, muss sie auf irgend welchem electrisch isolirten wägbaren Stoff angehäuft sein, und ihr in einer bestimmten Entfernung die gleiche oder entgegengesetzte, unter gleichen Bedingungen befindliche Electrizität genähert werden. Indem sich dann die gespannten Electrizitäten zu nähern oder zu entfernen streben, ziehen sie ihre materielle Lagerstätten mit sich. Für diese Art von bewegender Wirkung finden sich die Bedingungen im thierischen Körper so selten und auch da nur an Orten von so untergeordneter Wichtigkeit (z. B. den trocknen Haaren), dass wir unbedenklich dieselben ausser Acht lassen können. Von einem ganz andern Gewicht für den Physiologen sind dagegen die in Fortleitung begriffenen getrennten electrischen Zustände oder die sogenannten Ströme. Ihren Quellen nach sind dieselben bekanntlich Thermo-, Induktions- und Hydroelectrische Ströme. Von allen diesen sind für unsere Zwecke nur die ersteren und die letzteren, die galvanischen und thermischen von Bedeutung. — Galvanische Ströme entstehen nun bekanntlich, wenn eine Einrichtung gegeben ist, wie sie Fig. 1 schematisch darstellt, in welcher zwei electromotorisch wirksame Stoffe A und B mit dem einen ihrer Enden bei S in Berührung sind, während sie mit ihren andern in eine zusammenhängende, unter dem Einfluss der Electrizität chemisch zerlegbare Flüssigkeit tauchen. Die Ursache des in einer solchen Veranstaltung kreisenden

Stromes kann verschiedentlich aufgefasst werden. Der strenge Contactelectriker erklärt sich den Hergang folgendermaassen: Bei der Berührung zweier electromotorischer Stoffe wird erfahrungsgemäss ein Theil der innerhalb derselben neutral vorhandenen Electrizitäten zerlegt; diese Zerlegung geht an der Berührungsstelle der Electromotoren vor sich; von diesem Ort, der sog. electromotorischen Scheidewand, strömen nun die freien Electrizitäten über die leitenden Electromotoren in der Art, dass der eine derselben mit positiver, der andere mit negativer Electrizität überzogen ist; von diesen Electromotoren dringen die Electrizitäten in die Flüssigkeit und durch diese hindurch sich durchkreuzend zu den gegenüberstehenden freien Enden der Electrizitätsvertheiler (*A*, *B*), wo sie sich gegenseitig neutralisiren, um dann von Neuem an der electromorischen Scheidungsquelle zerlegt zu werden. Die Bedeutung, welche der Contactelectriker der Flüssigkeit zuschreibt, ruht demnach darin, dass sie leitet, ohne zugleich an der Berührungsstelle mit den Electromotoren die Electrizität in derselben Ordnung zu zerlegen, in der sie bei *S* zerfällt wurde. Denn verhielte sich in der That die Flüssigkeit negativ gegen *B* und positiv gegen *A* *), so würden an den flüssigen Berührungsstellen die eintretenden + und — Electrizitäten zurückgeworfen werden, verhält sich dagegen die Flüssigkeit indifferent oder positiv gegen *B* und negativ gegen *A*, so wird der Strom möglich, indem nun von der Flüssigkeitsgrenze aus *A* mit mit positiver und *B* mit negativer Electrizität überzogen wird. Obwohl diese Hypothese nicht allein die Möglichkeit der Entstehung einer Strömung vollkommen erläutert, sondern sich auch den Thatsachen anschliesst, so ist sie dennoch ungenügend. Denn einmal vernachlässigt sie vollkommen die Erscheinung, dass nur dann eine Strömung beobachtet wird, wenn innerhalb des flüssigen Leiters



*) das heisst überzögen sich in Folge der Berührung B mit positiver und die Flüssigkeit mit negativer Electrizität u. s. w.

eine chemische Zersetzung statt hat, und noch mehr, sie fusst auf dem Prinzip des ewigen Umlaufs, indem sie nicht angiebt, woher die ausserordentlichen bewegenden Kräfte genommen werden, welche dem Strome der Electrizitäten eigen sind, resp. die Strömung der Electrizitäten veranlassen. — Die Erwägung, dass diese, dem electrischen Strome eigenthümlichen bewegenden Kräfte nicht ohne Vernichtung anderer bewegungserzeugender entstanden sein könnten, führt zu der Annahme, es mögte die eine oder die andere der bei dem galvanischen Strome vorgehenden chemischen Umsetzungen die gesuchte Kraftquelle sein, so dass in Uebereinstimmung mit der Erfahrung kein Strom ohne Zersetzung bestehen könne*). — Ueberlegen wir nun, welche Art von Wirkungen von Seiten der chemischen Umsetzung zur Einleitung des Stromes verwendbar ist, so kann diese keine andere sein, als diejenige, welche unter andern Umständen Wärme erzeugt. Der thatsächliche Beweis für diese Art von Erhaltung, resp. Einleitung des electrischen Stromes durch die chemische Umsetzung ist dadurch gegeben, dass 1) die Electrizitäten und die Wärme in einer solchen Beziehung zu einander stehen, dass sie sich gegenseitig anzuregen im Stande sind, mit andern Worten, dass durch die Wärmeschwingung die Bewegung der Electrizität und unmgekehrt durch den electrischen Strom Wärmeschwingungen erzeugt werden könnten. Die Erfahrung entscheidet bekanntlich für diese Annahme. — 2) Es erzeugen nur solche chemische Umsetzungen einen electrischen Strom, welche unter andern Umständen Wärme aus dem latenten in den freien Zustand zu führen vermögend wären. 3) Die durch den electrischen Strom im Maximum erzeugbare Wärme muss genau so gross sein als diejenige, welche durch die in der Flüssigkeit vor sich gehenden Zersetzungen ohne Einleitung eines Stromes direct frei gemacht werden kann**). 4) Wenn der electrische Strom Wärme entwickelt, so muss er endlich, unter Annahme der Richtigkeit unserer Voraussetzungen, einen der gebildeten Wärmemenge proportionalen Verlust an Bewegung erleiden, eine Annahme, die insofern in Uebereinstimmung mit den Thatsachen ist, als die stromhemmenden Umstände (der Leitungswiderstand) die wärmeentwicklenden Bedingungen des Stromes darstellen. *(Becquerel, Lenz, Joule.)*

Die Art und Weise, auf welche der einmal entwickelte Strom

*) Helmholtz, die Erhaltung der Kraft. Berlin 1847, p. 37 u. f.

**) Holtzmann. Poggendorf's Annalen 91 Bd. 260. Koosen ibid. 427 und 525. Fabre. Annales de chim. et phys. 1854.

eine Bewegung materieller Theilchen einleiten kann, ist bekanntlich ausserordentlich mannigfaltig; er ist befähigt den Flüssigkeiten, die er durchsetzt, eine Ortsbewegung mitzutheilen (electrische Diffusion), zwei von einem Strome durchflossene Leiter können sich anziehen und abstossen, ein Strom vermag ferner durch Vertheilung des Magnetismus, durch Entwicklung von freier Wärme oder von Gasarten mit latenter Wärme in den von ihm durchflossenen Leitern u. s. w. Bewegungen materieller Massen einzuleiten.

2) Leistungen der Form, in welche die gewichtigen und gewichtlosen Stoffe gebracht sind. — Zu den bis dahin dargestellten, die Leistungen der thierischen Körper bedingenden Elementen tritt als eine weitere Bestimmung die Form, welche seinen einzelnen Theilen zukommt. Die Bedeutung derselben liegt darin, die Richtung einer gegebenen Bewegung zu bestimmen, nicht aber darin, Bewegungen irgend welcher Art zu erzeugen. Die Allgemeingiltigkeit dieser Behauptung leuchtet sogleich ein, wenn man erwägt, dass die Form nichts anders ist, als die aus irgend welchen Anziehungen einer Substanz hervorgehende Lagerung der Theilchen. — Die Form kann demgemäss nur darin von Wichtigkeit werden, dass sie die Richtung und die zeitliche Erscheinung der Bewegungen, welche auf sie treffen, oder welche in der von ihr umschlossenen Substanz erzeugt werden, ändert. Die Wahrheit dieses Satzes kann durch die Betrachtung einer jeglichen Leistung der thierischen Körper, insofern sich Formen an ihrer Erzeugung betheiligen, dargethan werden; wir erinnern hier nur an die eigenthümlichen Veränderungen, welche in der Wirkung der Muskelkraft durch die Biegungen der Gelenkflächen und die Länge der Knochen hervorgerufen werden; an die Veränderungen, welche die Lichtstrahlen in ihrem Gang durch die eigenthümlichen Krümmungen der Augenmedien erleiden, an die besondere Verbreitung der Nervenkräfte innerhalb der Nervenröhre u. s. w.

3) Leistungen der äusseren Einflüsse für die im thierischen Körper vorgehenden Processe. — Das in besondere Formen geschlossene System von Elementen, welches wir den thierischen Körper nennen, steht nicht isolirt, sondern es ist auch der in die Ferne wirkenden Anziehung und Abstossung unterworfen, welche von einer Reihe dasselbe umgebender Stoffe ausgehen. Demgemäss werden die anziehenden und abstossenden Wirkungen, welche die elementaren Bedingungen des Körpers auf einander üben, nicht die einzigen Componenten sein, aus denen

die Leistungen des thierischen Körpers hervorgehen. Wie ersichtlich, wird die Wärme der Atmosphäre, der Wärmeleitungswiderstand der Kleidung u. s. w. von Einfluss sein auf die Summe der Wärme im Thierleib; die Intensität der Schwere an dem Orte, an welchem der Thierkörper sich befindet, wird zum Theil die Dichtigkeit der in ihm enthaltenen Stoffe bestimmen u. s. w. Durch diese Wechselwirkung, einerseits zwischen den tellurischen und siderischen und anderseits zwischen den physiologischen Bedingungen werden begreiflich zahllose Folgen erzeugt, und es wird demnach die Einsicht in die Hergänge des thierischen Körpers erst eine vollkommene sein, wenn die Angabe gemacht werden kann, welche äussere Einflüsse sich auf die im thierischen Körper selbst vorhandenen Anziehungen in jedem Augenblicke geltend machen.

Folgerungen aus diesen Betrachtungen für die das Thier bezeichnenden Hergänge. — Als eine Folge der bisher erwähnten elementaren Leistungen ergiebt sich sogleich, dass das einzelne Thier eine ungemeine Mannigfaltigkeit in den von ihm ausgehenden Erscheinungen bieten muss; ferner dass das Thier ein Gebilde darstellt, in dem auf scheinbar selbstständige Weise Kräfte entwickelt werden, dass diese Kraftentwicklung aber nur so lange und in dem Umfange möglich, in welchem die chemische Umtetzung innerhalb desselben geschieht; ferner, dass mit der Grösse des Stoffumsatzes und der in das Thier ein- und ausgeführten Stoffmassen die Fähigkeit zur Kraftentwicklung sinken (Ermüdung) und steigen (Erholung) muss; ferner, dass jede innerhalb des Körpers entstehende neue Bewegung oder Anziehung, oder eine jede ausserhalb desselben stehende, aber auf ihn wirksame nicht eine einfache, sondern eine mannigfach complicirte Veränderung des thierischen Organismus erzeugt; ferner, dass die einzelnen Bestandtheile des Thierleibs in einer nur bedingten Abhängigkeit von einander bestehen u. s. w.

Diese zahlreichen, leicht noch weiter zu vermehrenden Uebereinstimmungen, welche sich ohne alle Hülfssätze zwischen den Folgerungen aus unseren Prämissen und den wirklichen Erscheinungen des Thierlebens finden, erwecken von vorn herein ein um so günstigeres Vorurtheil für die Richtigkeit derselben, als man in der That durch keine andere der bisher angewendeten Betrachtungsweisen auch nur entfernt etwas Aehnliches zu leisten vermag. Dieses bestimmt uns denn nun auch, die physikalische Anschauungsweise in voller Strenge zur Anwendung zu bringen.

Allgemeinste Aufgaben der physiologischen Untersuchung. — Unter Voraussetzung der Richtigkeit vorstehender Betrachtungen, lassen sich nun folgende allgemeine Aufgaben im Bereich der Physiologie für möglich erklären.

1) Man bestrebt sich den thierischen Körper in seine Bestandtheile zu zerlegen, und sucht diese letzteren, abgesehen von ihren Leistungen innerhalb des thierischen Organismus, durch möglichst scharfe Kennzeichen irgend welcher Art von allen andern zu scheiden. — Diese wichtige und fundamentale Arbeit übernimmt für die Stoffe die Chemie, für die Formen die Anatomie; die erstere bedient sich zur sichern Bezeichnung ihrer Objecte des Atomgewichts und daneben der hervorragendsten Verwandtschaftsäusserungen zu den gewöhnlichen Reagentien, der Crystallform und des spez. Gewichts. — Die Anatomie müsste diesen Ansprüchen gemäss ihre Formen durch Angabe der constanten und wo möglich mathematisch ausdrückbaren Verhältnisse bezeichnen; leider begnügt sich der grösste Theil der Anatomen mit sehr wenig bestimmten Charakteristiken und zum Theil mit ganz gedanklosen Messungen.

2) Man bestrebt sich, die von mehr oder weniger complicirten Apparaten ausgehenden Leistungen ihrem absoluten Werth nach zu messen, ohne Rücksicht auf die Art und Weise, wie diese Resultirende sich aus dem ihr zu Grunde liegenden Prozesse erzeugt. — Zu diesen Betrachtungen gehört z. B. die Bestimmung des Blutdrucks, der Geschwindigkeit der Nervenleitung, die Bestimmung der Menge der Athmungsluft u. s. w. Mag die Erfüllung dieses Bestrebens im einzelnen Falle sich noch so schwierig darstellen, und die gemessene Leistung auch von den wichtigsten Organen ausgehen und wichtigster Art sein, das Resultat wird immer nur von einem grösseren statistischen und von einem geringeren wissenschaftlichen Werth sein; den letzteren erhält es nur dadurch, dass es den Beobachtern Fingerzeige zur wahren physiologischen Untersuchung gewährt.

3) Man bestrebt sich, irgend eine Leistung als eine Funktion der sie erzeugenden Bedingungen aufzufassen; diese Aufgabe ist als die höchste der physiologischen Forschungen anzusehen. Ganz allgemein kann man sich zweier Wege bedienen, um der durch sie gebotenen Anforderung zu genügen. a) Entweder man combinirt theoretisch (durch den mathematisch-physikalischen Calkül) oder praktisch (durch den physikalisch-chemischen Versuch) eine gewisse Summe von Bedingungen bekannter und den organischen angenäherten Eigenthümlichkeiten und vergleicht die durch sie

hervorgebrachten Wirkungen mit den in der Natur erzeugten. Diese direkte Methode ist diejenige, welche sogleich zu den grössten Aufschlüssen führt; aber sie ist nur selten anwendbar. Sie ist aber schon mit Erfolg in Anwendung gebracht worden, z. B. als künstliche Verdauung, als Stromlauf in elastischen Röhren, als besondere electrische Combination u. s. w. Zur Aufhellung des Verdauungsprozesses, des Blutlaufes, der Muskelwirkungen u. s. w. b) Wenn dieser Weg nicht anwendbar ist, führt ein anderer, meist nicht minder schwieriger zum Ziele; er läuft darauf hinaus, die an irgend welchem Prozesse sich betheiligenden Bedingungen, gleichgiltig ob sie sämmtlich bekannt oder nicht bekannt sind, in Gruppen zu spalten, von denen die einen constant erhalten, die anderen in messbarer Weise verändert werden, zu Zeiten, in denen man die Werthe der aus dem Prozess hervorgehenden Leistungen misst. Diese allgemeine Methode gibt unter den gemachten Voraussetzungen Aufschluss über den Antheil, den eine (die variable) Bedingung an der Erzielung der Gesammtleistung hat, ohne dass sie aber, wie die vorher erwähnte uns zugleich belehrte, durch welche eigenthümliche Wirkung auf die anderen Bedingungen die variable dieses Gesammtresultat erzeugen hilft. — Diese Methode gewährt der Untersuchung einen geradezu unbegrenzten Spielraum und die durch sie erlangten Aufklärungen sind immer werthvoll, vorausgesetzt, dass man die verlangten Forderungen möglich machen kann; als eine Anwendung derselben darf man es aber natürlich nicht betrachten, wenn man, wie es nur zu häufig geschieht, eine Bedingung variirt, während man sich nicht der Constanz der übrigen versichert hat. — Die Behauptung, dass jede durch dieses Mittel gewonnene Aufklärung werthvoll sei, schliesst begreiflich die andere nicht aus, dass eine Gradation des Werthes innerhalb ihrer Resultate bestehe. Mit Rücksicht auf diesen Satz darf ausgesprochen werden, dass die Untersuchung um so allgemein gültigere und wahre Aufschlüsse erzielende Früchte bringen wird, je mehr elementare Bedingungen eines Processes sie variabel zu machen im Stande ist.

Plan des Vortrags der Physiologie. Die Erfahrungen lehren, dass die in dem thierischen Körper eintretenden chemischen Elemente grösstentheils sich zu sog. zusammengesetzten Atomen vereinigen; diese Verbindungen erster Ordnung treten dann zu solchen zweiter und höherer Ordnungen zusammen, so dass die von den chemischen Eigenschaften der Körperbestandtheile erzielten Lebensfunctionen nicht von einem unmittelbaren Aufeinanderwirken

der Elemente herrühren, sondern bedingt sind durch die Resultirenden aus den complizirten Verbindungen. Diese chemischen Verbindungen treten im festen und flüssigen Zustande zur Bildung von mikroskopischen Formen zusammen; eine Zahl von solchen gleich- oder ungleichartigen Formen bildet mehr oder weniger innig zusammengelagerte, von einander räumlich gesonderte Gruppen, sogenannte secundäre Formen oder Organe; mehrere solcher Organe stehen darauf wieder theils der räumlichen, theils der funktionellen Anordnung als Organgruppen in Beziehung, aus deren Zusammenordnung endlich der sog. Organismus erwächst.

Diese Erfahrungen bezeichnen der Darstellung den Weg, welchen sie einzuschlagen hat, um zu einer Einsicht in die physiologischen Vorgänge zu führen. Sie verlangen, dass man zuerst die Beziehungen darstelle, welche die als chemische Einheit in den Körper tretenden Stoffe zu einander besitzen, dann welche resultirende Wirkungen aus ihrer Combination entstehen u. s. w., mit einem Worte, eine vom relativ Einfachen zum immer weiter Verwickelten aufsteigende Darstellung.

Der hier vorgezeichnete Plan ist in den folgenden Mittheilungen insoweit befolgt, als er den der Wissenschaft angehörigen Thatsachen gemäss nicht zu leeren Schematismen und zu Dunkelheiten führt. In diesem Sinne ist dem vorliegenden Bande als erster Theil die Physiologie der Atome und Aggregatzustände einverleibt, und hierauf die Physiologie der Nervenröhren und des Ganglienkörpers und der aus ihm vorzugsweise hervorgehenden Combinationen, dargestellt, dann ist die Lehre vom Muskelelemente und der durch ihre Zusammenwirkung gebildeten Organe erörtert worden.

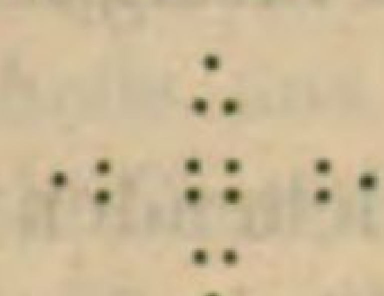
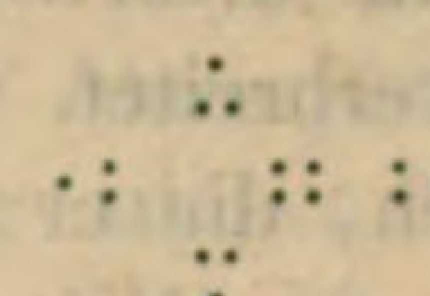
Erster Abschnitt.

Physiologie der Atome.

Nachdem die organische Chemie die wägbare Masse des Thierleibs als eine Zusammenhäufung bestimmter atomistischer Individuen erkannt hat, ist es der Physiologie zugewiesen zu ermitteln, welche Funktionen jedes der mehr oder weniger complizirten Atome im thierischen Körper übernimmt. Diese Aufgabe wird als gelöst anzusehen sein, wenn die Anordnung der Elemente innerhalb des complizirten Atoms, die Menge seiner latenten Wärme und die Verwandtschaftsäusserungen bekannt sind, welche jedes einzelne Atom gegen alle übrigen im thierischen Körper enthaltenen unter den dort gegebenen Bedingungen zeigt.

a) Anordnung der Atome. Rationelle Formel. Die chemischen Verbindungen können bekanntlich unter der Einwirkung des Lichts und der Wärme, der Electrizität und anderer chemischen Reagentien zerfällt werden. Als Producte dieser Zerfällung treten nun aber meist nicht die Elemente, sondern Stoffe auf, welche selbst wieder mehr oder weniger zahlreiche Atome enthalten. Aus diesem Umstande schliesst der Chemiker, es möchte in einer jeden auf diese Weise zerlegbaren Verbindung auch schon vor ihrer Spaltung die abtrennbaren complizirten Molecüle als solche enthalten sein. Mechanisch ausgedrückt würde dieses heissen, dass innerhalb einer complizirten Verbindung nicht jedes elementare Atom das andere mit gleicher Stärke anzieht, sondern dass eine gewisse Zahl derselben in Folge einer kräftigeren Anziehung zu einander innig geschlossene Atomgruppen bilden, deren Einzelanziehungen sich zur Erzeugung einer nach aussen wirkenden Resultirenden vereinigen. Eine jede dieser Atomgruppen würde nun als ein Ganzes auf irgend welche andere anziehend wirken. Da die Verbindung leichter in Gruppen als die Gruppe in ihre Elemente zerfällt, so könnte man noch den näher bestimmenden Zusatz beifügen, dass die zwischen den Bestandtheilen der Gruppe wirksamen Anziehungen kräftiger wären als diejenigen zwischen den Gruppen. Man kann sich das soeben vorgetragene Theorem durch ein Bild verständlich machen, wenn man sich die elementaren Atome als Punkte denkt und sich die Stärke ihrer gegenseitigen Anziehung durch die räumliche Näherung der Punkte darstellt, wie es die beistehende Figur eines sechszehnatomigen Stoffes erläutert ·: :: :· . — Obwohl nun die Wissenschaft noch weit davon entfernt ist angeben zu können, was für besondere

Hergänge den Thatsachen, die man unter dem Wort Atomanordnung zusammenfasst, zu Grunde liegen, so steht doch fest, **dass in einer jeden complizirten Verbindung eine gewisse Zahl von Atomen zu einander in einer innigeren Beziehung stehen als zu allen übrigen.**

Die Anordnung der Atome innerhalb eines complizirten Stoffes ist nun aber keineswegs eine unveränderliche, sondern eine mit den Umständen wechselnde; denn ein und derselbe Körper liefert unter verschiedenen Einflüssen verschiedene Zerfällungsprodukte. Diese dem Thatbestand gemässe Erweiterung des oben gegebenen die Atomlagerung bestimmenden Begriffs schliesst bei genauerer Betrachtung eine theoretische Nothwendigkeit in sich. Denn da wir das Bestehen eines complizirten Atoms als Folge der in ihm wirksamen Anziehung ansehen, so muss, wenn ein neuer wirksamer Einfluss zu dem bisher vorhandenen hinzutritt, eine Veränderung in den bisher bestandenen Anziehungen geschehen. Indem wir noch einmal unser obiges Bild zur Erläuterung benutzen, wollen wir voraussetzen, es wandle sich durch die Gegenwart irgend eines zersetzenden Einflusses die Form  in  um, indem z. B. ein neu hinzutretendes chemisches Reagens besondere Verwandtschaft zu 2 Atomgruppen (der rechten und der mittlern) besässe. Die Folge dieser veränderten Stellung würde offenbar darin bestehen, dass die drei übrigen Atomgruppen (linke, obere und untere) von dem Druck der Anziehung der beiden andern befreit ihrer eigenen Folge geben könnten.

Das Schwankende, welches in den bis dahin gemachten theoretischen Angaben liegt, könnte Veranlassung sein, von streng wissenschaftlichem Standpunkte aus ihren Werth überhaupt in Frage zu stellen; indem wir die Berechtigung hierzu nicht bestreiten, müssen wir dagegen mit um so ernsterer Betonung auf die praktische Bedeutung jener Thatsachen hinweisen. Denn es ergibt sich aus ihnen, dass weder durch die absolute Zahl und die Qualität der in eine Verbindung getretenen elementaren Atome, noch durch die Zersetzung, welche ein complizirtes Atom unter dieser oder jener beliebigen Bedingung erleiden kann, alle die Folgen bestimmt sind, welche durch die Anwesenheit einer Verbindung möglich werden, sondern dass zur vollkommenen Charakteristik dieser Folgen noch gegeben sein muss, welche Zersetzung der Atom-Complex unter ganz bestimmten Bedingungen erleidet; oder um in der Sprache der Chemiker zu reden: dem Physiologen ist es nothwendig zu wissen, **wie die rationelle Formel der complexen chemischen Atome beschaffen sei, während sich dieselben im thierischen Körper aufhalten.**

b) Da wir die aus dem latenten Zustand hervortretende Wärme als eine der wesentlichsten Ursachen der physiologisch mechanischen Kraftentwicklung ansehen, so bedarf es keiner Erläuterung, dass wir einen Werth darauf legen müssen, zu erfahren, wie beträchtlich die latente Wärme der in den thierischen Körper eintretenden und ihn verlassenden Stoffe sei.

c) Endlich scheint es auch selbstverständlich, dass dem Physiologen vorzugsweise daran gelegen sein muss, die Verwandtschaftserscheinungen zu kennen, welche sich entwickeln, wenn die im thierischen Körper vorhandenen Stoffe unter den daselbst gegebenen Bedingungen zusammentreffen.

Die Lösung der Aufgabe ist von der Wissenschaft noch nicht erreicht; denn wir kennen noch nicht einmal alle complexe Atome, welche die wägbaren Massen des thierischen Körpers ausmachen

wie wir daraus schliessen, dass ihre Zahl durch die Entdeckungen der Chemiker sich jährlich mehrt; unter den durch ihre Eigenschaften als specifische Atomcomplexe festgestellten, giebt es ferner eine nicht unbeträchliche Zahl, deren empirische Formel (das Atomgewicht) noch unbekannt ist; die Atomlagerung derjenigen, von bekannter empirischer Formel, liegt endlich meist ganz im Dunklen. — Die latente Wärme der Verbindungen ist nur für Wenige bestimmt, und zur Aufhellung der wichtigsten Verwandtschaftsäusserungen ist noch das Meiste zu thun übrig.

1. Sauerstoffgas. Der gasförmige Sauerstoff findet sich innerhalb des thierischen Organismus entweder in andern freien Luftarten, oder mit diesen in Flüssigkeiten diffundirt. Sein Vorkommen ist sehr verbreitet.

Die Funktionen, die er im lebenden Thier leistet, übt er vermittelst seiner lebhaften Verwandtschaften aus, die er zu den organisch-chemischen Atomen des thierischen Körpers besitzt. Diese Verwandtschaften bedingen es, dass die ursprünglich sauerstoffarmen Bestandtheile der thierischen Organe in sauerstoffreiche übergeführt werden. Die bemerkenswertheste Folge dieser Art von chemischen Prozessen besteht darin, dass durch dieselben eine Menge Spannkräfte in freie (lebendige) Kräfte verwandelt werden, welche auf verschiedene Art die Bewegungserscheinungen des Lebens bedingen.

In Berücksichtigung der Thatsache, dass unsre Nahrungsmittel aus sauerstoffarmen, unsre Aussonderungsprodukte aus sauerstoffreichen Atomen bestehen, hat man den chemischen Vorgang innerhalb des thierischen Organismus einen Verbrennungsprozess genannt. Dieser Ausdruck ist unverfänglich, sowie man festhält, das diese Verbrennung von ganz besonderer Art ist. Die Besonderheiten derselben liegen darin, dass 1) zu ihrer Einleitung keine hohe Temperatur nöthig ist. Die räthselhafte Erscheinung, dass innerhalb des Thierkörpers bei niederen Temperaturen die schwerverbrennlichsten Stoffe in CO_2, HO u. s. w. umgesetzt werden, ist der Lösung näher gerückt durch die wichtige Entdeckung von Schönbein, wonach der O in zwei sog. allotropischen Modificationen vorkommt; die eine derselben, welche Schönbein den erregten Sauerstoff nennt, hat so energische Verwandtschaften, dass sie bei jeder Temperatur überall Oxydationen einleitet. Wenn, wie man anzunehmen genöthigt ist, erregter O im thierischen Körper vorkommt, so würde der Grund einer Verbrennung bei niederer Temperatur klar vorliegen. — 2) Die Verbrennung im thierischen Körper zeichnet sich vor der bei hohen Temperaturen auch dadurch aus, dass die durch sie gelieferten Produkte andere sind. Bekanntlich zerfallen Eiweiss, Fette u. s. w. bei der Einwirkung des O unter Einfluss hoher Temperaturen nicht sogleich in CO_2; HO; NH_3 u. s. w., sondern vorerst in Brenzprodukte, welche dann erst vollkommen verbrennen. Die Endprodukte der Verbrennung sind nun innerhalb und ausserhalb des thierischen Körpers dieselben, aber die Zwischenprodukte sind verschieden, wie schon daraus hervorgeht, dass man die erwähnten Brenzstoffe im Organismus nicht findet.

Die grösste Uebereinstimmung zwischen beiden Verbrennungsweisen zeigt sich dagegen darin, dass auf beiden Wegen gleichviel Wärme entwickelt wird. Wir können dieses mit Sicherheit daraus schliessen, weil die Verbrennungsprodukte des thierischen Körpers gerade soviel und sowenig latente Wärme enthalten, als die der Flamme. Dass diese Wärme, welche innerhalb des thierischen Körpers, aus dem latenten in den freien Zustand übergeführt wurde, als bewegungserzeugendes Mittel gebraucht wird, leuchtet recht ein, wenn man erfährt, dass die Nerven und Muskelfunktionen der Beihülfe des O nöthig haben.

Das Sauerstoffgas wird als solches aus der atmosphärischen Luft in den Thierkörper eingeführt, und in demselben zum Theil in Ozon umgesetzt.

2. Stickgas ist in allen mit Luft und Flüssigkeit erfüllten Räumen des thierischen Körpers. Seine physiologische Bedeutung ist unbekannt. Es wird theils aus der Atmosphäre aufgenommen, zum Zheil scheint es durch Zersetzung stickstoffhaltiger Gewebsbestandtheile gebildet zu werden. Siehe die Lehre von der Athmung.

3. und 4. Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas (?) kommen im Darmkanal vor. Beide Gasarten, von denen namentlich die letzte noch genauer bestimmt werden muss, sind Zersetzungsprodukte der Nahrungsmittel. Ueber ihre physiologische Bedeutung ist nichts bekannt.

5. Wasser. Die Bedeutung, welche diese im menschlichen Organismus so verbreitete Flüssigkeit für das Leben gewinnt, erhält sie, so weit bekannt, durch folgende Eigenschaften: a) Das Wasser ist Lösungsmittel sehr vieler Bestandtheile des Thierkörpers und als solches das Mittel, die Bewegung und feinste Vertheilung vieler Atome durch den thierischen Körper möglich zu machen, ohne die Hilfe der in der Ferne wirkenden Anziehung (s. Diffussion), und die Verbindungen respective Umsetzungen der Atome zu erleichtern. b) Das Wasser ist Imbibitionsstoff; vermittelst seiner Adhäsion zu den meisten und wesentlichsten festen Bestandtheilen des Thierleibes, überzieht es dieselben an ihrer Oberfläche mit einer feinen Schicht, und insoferne diese Substanzen von feinen Oeffnungen und Röhren (Poren) durchbohrt sind, dringt es auch in das Innere derselben; in Folge dessen werden die Gewebe für die in Wasser löslichen Substanzen durchgängig; ferner verändert sich hiermit das specifische Gewicht, die Elasticität, die Durchsichtigkeit und die electrische Leitungsfähigkeit der Gewebe. c) Sein Dampf bedarf zu seiner Entstehung — welche bekanntlich so lange geschieht, als der das Wasser umgebende Luftraum nicht schon mit Wassergas gesättigt ist — beträchtlicher Mengen von Wärme, die in den sogenannten

latenten Zustand übergeführt werden. Durch die Gegenwart des Wassers, respective durch die Verdunstung desselben, wie sie in der Haut, den Lungen u. s. w. fortwährend geschieht, wird dem thierischen Körper ununterbrochen Wärme entzogen; das Wasser ist demnach ein Abkühlungsmittel, und insoferne es vermittelst besonderer Apparate bald mehr bald weniger abkühlt, ein Wärmeregulator.

Nicht unwahrscheinlich, aber noch unerwiesen ist es, dass das Wasser auch durch seine chemischen Eigenschaften Dienste leistet, sei es als Hydrat und Basiswasser, oder indem sich die dasselbe constituirenden einfachen Atome (H u. O) an mancherlei Zersetzungen organischer Stoffe betheiligen.

Das Wasser wird zum grössern Theil mit den Nahrungsmitteln aufgenommen, zum kleineren bildet es sich durch den steten langsamen Verbrennungsprozess der wasserstoffhaltigen Verbindungen, welcher in den Geweben und Flüssigkeiten des lebenden Körpers vor sich geht.

6. Kohlensäure und ihre Salze.

A. Die freie Kohlensäure ist in den, im thierischen Körper enthaltenen Luftarten und in den meisten Flüssigkeiten desselben diffundirt. Ob in allen Flüssigkeiten, aus denen CO_2 durch Anwendung von physikalischen Mitteln (Verminderung des Luftdruckes, Erwärmung u. s. w.) in Gasform entfernt werden kann, die CO_2 nur diffundirt oder in chem. Verbindungen enthalten ist, steht noch dahin.

Durch ihr Vermögen, sich in dem Wasser des Organismus leicht aufzulösen und durch ihre Fähigkeit in der Atmosphäre zu verdunsten, ist sie dem Leben förderlich.

Sie wird zum kleinsten Theil in den Organismus mit den Nahrungsmitteln eingeführt, zum grössten Theil in ihm durch die langsame Verbrennung kohlenstoffhaltiger Bestandtheile gebildet.

B. Kohlensaure Natronsalze. Nach den im thierischen Körper gegebenen Bedingungen, dürften alle drei Verbindungen der CO_2 mit NaO in ihm vorkommen. Denn da sich häufig mit CO_2 gesättigte Räume finden, so muss sich in diesen das etwa vorhandene $NaO\,CO_2$ und $2\,NaO\,3\,CO_2$ in $NaO\,2\,CO_2$ umwandeln; da dieses aber dann wieder in eine fast kohlensäurefreie Atmosphäre gelangt, so wird dasselbe in $2\,NaO\,3\,CO_2$ und möglicherweise sogar: $NaO\,CO_2$ (Becher) zurückgeführt. $NaO\,CO_2$ wird sich aber dann bilden, wenn CO_2 mit dreibasisch-phosphorsaurem Natron in Berührung kommt.

Diese Salze greifen nachweislich in den Lebensprozess ein: a) durch ihr Verhalten gegen CO_2; indem innerhalb einer Atmosphäre

dieser Säure sich das anderthalb und einfach kohlensaure Natron in doppelt kohlensaures umwandelt, und das doppelt kohlensaure innerhalb anderer Gasarten einen Theil seiner CO_2 verliert, sind sie geeignet die CO_2 aus den mit dieser Luftart geschwängerten Geweben in die äussere Luft überzuführen, ein Hergang, welcher bei der Athmung genauer verfolgt werden wird. b) Durch die Einwirkung auf die Eiweisskörper bewerkstelligen sie die allmälige Umsetzung derselben, namentlich bedingen sie es, dass das Eiweiss, das in der Blutflüssigkeit gelöst ist, (unter Abscheidung von Schwefel und Ammoniak?) in ein dem sogenannten Protein ähnliches Product umgesetzt wird; die alkalisch reagirenden einfach und anderthalbfach kohlensauren Natronsalze wirken ähnlich aber milder als das kaustische Natron. c) Ferner liefert es das Material zur Bindung der im thierischen Körper entstehenden oder in ihn gebrachten organischen oder mineralischen Säuren; die ersteren (milchsauren, essigsauren etc.) Salze werden unter dem Einfluss der im Organismus vorhandenen Oxydationsmittel in kohlensaure Salze umgebildet. d) Ferner erhält seine Gegenwart mehrere wichtige eiweissartige Körper, namentlich Faserstoff (?) und Käsestoff in Lösung.

Die kohlensauren Natronsalze werden theils mit den Nahrungsmitteln eingeführt, zum überwiegenden Theil aber aus Salzen des Natrons mit einer organ. Säure gebildet.

C. Kohlensaure Kalkerde findet sich krystallinisch in den Gehörsteinen des Labyrinths; dann amorph in den Knochen, Harn, Speichel, Darmkanal. Dieses in den thierischen Flüssigkeiten schwer lösliche Salz scheint innerhalb der Knochen ähnlich dem phosphorsauren Kalk zu wirken; im Uebrigen liegt seine Bedeutung im Dunkeln.

D. Kohlensaure Magnesia. Man kennt ihr Vorkommen, nicht aber ihre Bedeutung.

7. Chlor-Verbindungen.

A. Chlorwasserstoff. Seine Gegenwart im Magensaft, früher behauptet und geleugnet, wurde neuerlichst wieder von C. Schmidt festgestellt. — Die physiologische Wichtigkeit der Salzsäure ist bedingt durch ihr Vermögen, einige in Wasser unlösliche Eiweiss- und Leimstoffe in Lösung zu versetzen.

Auf welchem Wege sie aus ihren Salzen im Magen frei gemacht wird, ist unbekannt.

B. Alkalische Chlorsalze. Alle wässerigen thierischen Flüssigkeiten enthalten diese Salze, und zwar kommt überall ein

Gemenge von Kochsalz und Chlorkalium vor, ausgenommen in den Säften, welche in dem Muskelprimitivbündel und dem Blutkörperchen eingeschlossen sind. In diesen beiden Flüssigkeiten soll nur Chlorkalium, aber kein Chlornatrium aufgelöst sein. Der Gehalt an alkalischen Chlorsalzen in den normalen Säften übersteigt niemals 0,5 Prozent; in grösseren Mengen scheinen diese Salzen überall giftig zu wirken.

Die grosse Verbreitung und die, im Vergleich zu andern löslichen Salzbestandtheilen, grossen Mengen der im Thierleib vorkommenden alkalischen Chlorsalze machen es von vorn herein wahrscheinlich, dass sie wichtige Funktionen erfüllen. Die Beobachtung thut nun in der That dar, dass mit dem vermehrten Genuss an NaCl das Bedürfniss nach fester, vorzugsweise aber nach flüssiger Nahrung wächst, und dass der Gehalt des Harns an Harnstoff gewinnt. Man darf daraus wohl schliessen, dass das Kochsalz die Stoffumwandlung innerhalb der Organe steigere.

Vermuthungsweise hält man die alkalischen Chlorsalze für wichtig: a) als Imbibitionsstoffe; wegen ihrer Löslichkeit und Diffussionsfähigkeit in das alle Gewebe durchdringende Wasser gelangen sie selbst in alle Gewebe. Sie bedingen hier, wie es nach später zu erwähnenden Versuchen wahrscheinlich ist, einen höhern Elastizitätcoefficient der Gewebe, und üben durch Verengerung der Poren zugleich einen Einfluss auf die Art und die Geschwindigkeit der Diffusion anderer im Wasser aufgelöster Bestandtheile der thierischen Flüssigkeiten. — b) Sie sollen die Löslichkeit einzelner Thierstoffe im Wasser modifiziren, indem sie entweder dieselbe unterstützen, wie die des Caseins, was sich in Kochsalzwasser auflöst, und des Faserstoffs, dessen Gerinnung durch Kochsalzlösung verhindert wird (?), oder indem sie die Auflösung hemmen, wie die des Blutroths, das sich in der Blutflüssigkeit bei starker Verdünnung mit Wasser auflöst. — c) Sie sollen einzelne chemische Umsetzungen erleichtern oder hemmen. So vermuthet man namentlich wegen des grossen Kochsalzgehaltes im Speichel und Magensaft, dass dasselbe die durch die Verdauungssäfte erzielte Umwandlung der mit der Nahrung aufgenommenen Nahrungssäfte begünstige (?) und zugleich eine bis zur Fäulniss schreitende Zersetzung desselben verhindere. Aus demselben Grund, dem beträchtlichen Gehalt der Flüssigkeiten des Knorpels, des Krebses und des Eiters an Kochsalz vermuthet man, dass es eine wesentliche Rolle in den chemischen Vorgängen übernehme, welche an jenen Orten sich an der Zellenbildung betheiligen. — d) Sie sollen die Ernährung der Muskeln und damit die Entwicklung von Muskelkräften und endlich e) die Zeugungsfähigkeit steigern.

Die alkalischen Chlorsalze werden mit den Nahrungsmitteln aufgenommen.

C. Erdige Chlorsalze. Unter den Bestandtheilen des thierischen Körpers findet sich Chlorcalcium (Speichel und Magensaft); ferner vermuthet man auch im Magensaft die Gegenwart des Chlormagnesiums. Ob mit Recht ist zweifelhaft. — Die Bedeutung beider Stoffe für das Thier ist unbekannt.

8. Fluorcalcium ist ein Bestandtheil des Zahnschmelzes und der Knochen; seiner grossen Härte wegen hält man es an diesen Orten für bedeutungsvoll.

9. Phosphorsaure Salze.

In einzelnen Fällen soll im Organismus freie Phosphorsäure vorgekommen sein; mit Olein und Glycerin gepaart, ist sie ein Bestandtheil des Hirns.

A. Phosphorsaure Alkalien. Von den mehrfachen Verbindungen der Phosphorsäure mit Kali und Natron findet sich in fast allen thierischen Säften $2NaOHOPhO_5$ und $2KOHOPhO_5$ aufgelöst; in einzelnen, unter Umständen wahrscheinlich auch $3NaOPhO_5$ und $3KOPhO_5$.

Diese Salzlösungen sind durch ihre alkalischen Eigenschaften, ferner durch die Fähigkeit, Kohlensäure in grossen Mengen zu absorbiren, Harnsäure (?) und Casein in Lösung zu erhalten, nachweislich für das Leben werthvoll. Ihr häufiges Vorkommen, namentlich aber ihre Anhäufung in einzelnen Theilen, wie in den Nerven, Muskeln, in den Blutkörperchen, deuten auf besondere Beziehungen zu jenen wichtigen Gebilden hin, eine Annahme, welche durch die Beobachtung bestätigt wird, dass die Nerven ihre Lebenseigenschaften in einer mehrprozentigen Lösung unserer Salze vorzugsweise gut erhalten.

Die phosphorsauren Kalien sind Nahrungsmittel.

B. Phosphorsaure Erden. Von diesen finden sich namentlich phosphorsaure Kalkerde und Magnesia.

Die im Menschen vorkommende phosphorsaure Kalkerde ist nach der Formel $3CaOPhO_5$ (Heintz) zusammengesetzt; sie kommt in den Knochen, Zähnen, eiweiss- und leimartigen Stoffen und dem Harne vor. Durch ihre Verbindung mit den eiweissartigen Stoffen (Eiweiss, Faserstoff, Käsestoff etc.), die in Alkalien löslich ist, wird sie im thierischen Körper verbreitet.

Mit Colla geht sie wahrscheinlich eine unlösliche Verbindung ein; ausserdem incrustirt sie einige andere gewebsbildende Stoffe; diese merkwürdige, noch nicht hinreichend verfolgte Eigenschaft gibt dem Organismus die Möglichkeit an die Hand, so feste Substanzen wie Knochen und Zähne zu bilden.

Die phosphorsaure Magnesia ist wahrscheinlich von gleicher chemischer Constitution und derselben physiologischen Bedeutung wie die Kalkerde.

Beide Salze werden mit den Nahrungsmitteln aufgenommen.

Phosphorsaures Eisenoxyd von der Formel $3Fe_2O_3PhO_5$ (?)

soll sich in den Muskeln, Haaren etc. finden. Der Magensaft des Hundes enthält Eisen.

10. Schwefelsaure Alkalien kommen vorzugsweise im Koth und Harn vor; die im Harn erscheinende SO_3 ist als ein Oxydationsprodukt des in leimartigen und eiweissartigen Substanzen enthaltenen Schwefels anzusehen; das kohlensaure Natron oder Kali bindet dieselbe. Ihre Bedeutung scheint eine untergeordnete zu sein.

11. Kieselsäure. In geringer Menge in den Knochen, Zähnen (?), Haaren, Blut, Galle, Speichel, Harn des Menschen; ob und welchen Einfluss sie auf den Lebensprozess übt, ist unbekannt.

12. Die Oxyde und Salze einiger Metalle, wie des Eisens, Kupfers*), Bleis, Mangans u. s. w. kommen im Organismus unzweifelhaft vor; die Art ihres Vorkommens und die Wichtigkeit ihrer Gegenwart liegen noch im Dunkeln.

13. Ammoniaksalze. Kohlensaueres Ammoniak findet sich im Blut, den Lymphdrüsen, Harn und Koth; es darf wohl als Umsetzungsprodukt der wesentlichsten Organbestandtheile betrachtet werden. Seinen Ausweg aus dem thierischen Körper findet es durch die Lungen und Nieren.

Das Vorkommen der Ammoniake, deren H durch Methyl, Aethyl u. s. w. vertreten ist, darf als sehr wahrscheinlich vorausgesetzt werden, weil einzelne thierische Stoffe (z. B. Kreatin) in solche Verbindungen zerfällt werden können, und noch mehr darum, weil schon Andeutungen über ihre Anwesenheit in der Retina (C. Schmidt) und im Harn (Dessaignes) vorliegen. Da die Salze der einfachen und der verwickelten Ammoniake sehr ähnliche Reactionen bieten, so war es ohne besondere Aufmerksamkeit leicht möglich, die letzteren mit den ersteren zu verwechseln.

14. Schwefelcyansalze. Schwefelcyankalium im Speichel und Schwefelcyanammonium im Harn nach Senfgenuss. Das Vorkommen dürfte vielleicht von Interesse werden, als ein Fingerzeig für besondere, an den bezeichneten Orten vor sich gehende Zersetzungen; ob die Stoffe von hervorragender physiologischer Bedeutung sind, ist unbekannt.

15. Oxalsaurer Kalk. In geringen Mengen im Harn, nach Genuss von vegetabilischen oxalsäurehaltigen Nahrungsmitteln und kohlensäurereichen Getränken, in dem Gallenblasen- und Uterusschleim. — Man vermuthet, dass die Oxalsäure ein Product des

*) Ph. Munk de cupro in organica verum natura obvia. Berlin 1856.

thierischen Oxydationsprozesses sei; unter die Stoffe, aus denen sie gebildet werden könnte, zählt nur Harnsäure. Da jedoch die Oxalsäure im Harn der Thiere fehlt, welche eine reine Fleischdiät führen (Schmidt), so ist die Vermuthung gestattet, dass sie vorzugsweise aus der Nahrung in den Harn übertrete.

16. Säuren von der empirischen Formel $C_{2n} H_{(2n-1)} O_3$; HO.

In den Säften und Geweben der Menschen sind aus dieser grossen Reihe folgende Glieder nachgewiesen:

a. $C_2 H O_3$; HO = Ameisensäure.
b. $C_4 H_3 O_3$; HO = Essigsäure.
c. $C_6 H_5 O_3$; HO = Propionsäure.
d. $C_8 H_7 O_3$; HO = Buttersäure.
e. $C_{12} H_{11} O_3$; HO = Capronsäure.
f. $C_{14} H_{13} O_3$; HO = Caprinsäure.
g. $C_{16} H_{15} O_3$; HO = Caprylsäure.
h. $C_{28} H_{27} O_3$; HO = Myristinsäure.
i. $C_{32} H_{31} O_3$; HO = Palmitinsäure.
k. $C_{34} H_{33} O_3$; HO = Margarinsäure (?).
l. $C_{36} H_{35} O_3$; HO = Stearinsäure.
m. $C_{40} H_{39} O_3$; HO = Butinsäure (?).

Diese Säuren erklärt man für Glieder einer natürlichen Gruppe wegen der Analogie in der Zusammensetzung, wegen der sehr ähnlichen Zersetzungserscheinungen, die sie bieten, und endlich weil sich in den physikalischen und chemischen Eigenthümlichkeiten einzelner Verbindungen die allmäligsten Uebergänge zeigen, wenn man vergleichend von den höhern zu den niedern Gliedern unserer Reihe herabsteigt.

Die Analogie in der Zusammensetzung springt sogleich in die Augen, wenn man die Bruchstücke der mitgetheilten Reihe mit den übrigen noch bekannten Gliedern vervollständigt; man sieht da sogleich, dass sich jedes höhere vom nächstvorhergehenden durch $C_2 H_2$ unterscheidet. — Von den Zersetzungserscheinungen besprechen wir hier nur einige der bekannten, welche der Physiologe besonders zu berücksichtigen hat; sie sind insofern in allen Gliedern gleichartig, als 1) die Kalisalze unserer Säuren auf elektrolytischem Wege unter Aufnahme von O nach Kolbe ganz allgemein zerlegt werden in $2(CO_2)$ und $(C_{2(n-1)} H_{(2n+1)})$ so z. B. die Essigsäure $(C_4 H_3 O_3)$ in $2(CO_2)$ und $C_2 H_3$; 2) durch Oxydation bei niederen Temperaturen und in Gegenwart faulender Substanzen geht ein beliebiges Glied unserer Reihe jedesmal in das folgende unter Bildung von 2 Atom Kohlensäure und 2 Atom Wasser über. In einer Formel ausgedrückt zerfällt also $C_{2n} H_{(2n-1)} O_3$; HO unter Aufnahme von O_6 in $C_{(2n-2)} H_{(2n-3)} O_3$; HO in $2CO_2$ und 2HO; 3) durch anhaltendes Einleiten von Chlor in ein Glied der Gruppe während seines flüssigen Zustandes wird der Wasserstoff desselben allmälig verdrängt und durch Chlor ersetzt. Bevor die vollkommene Verdrängung des Wasserstoffs erreicht ist, bilden sich Zwischenprodukte, in denen jedesmal ein Aequivalent Wasserstoff durch ein Aequivalent Chlor vertreten ist. Die Zersetzung wird durch folgende Gleichung

ausgedrückt: $C_{2n}H_{(2n-1)}O_3$; HO geht durch $C_{2n}H_{(2n-2)}ClO_3$; HO schliesslich in $C_{2n}Cl_{(2n-1)}O_3$; HO über, so z. B. verwandelt sich Essigsäure = $C_4H_3O_3$; HO in $C_4\left\{\begin{matrix}H_2\\Cl\end{matrix}\right.O_3HO$; dann in $C_4\left\{\begin{matrix}H\\Cl_2\end{matrix}\right.O_3$; HO endlich $C_4Cl_3O_3$; HO = Chloressigsäure. — So sehr die physikalischen Eigenschaften des ersten und letzten Gliedes unserer Reihe von einander abweichen, so nahestehend sind diejenigen zweier unmittelbar aufeinander folgenden. So liegt z. B. der Siedepunkt der höchsten Glieder der Reihe bei dem Normalbarometerstand so hoch, dass er ohne Zersetzung nicht erreicht werden kann, von da ab nimmt er für jedes Glied um 18,4°C ab (Kopp), bis endlich die Essigsäure früher als das Wasser kocht. Die höchsten Glieder tragen in Bezug auf ihre Adhäsions- und Lösungsverhältnisse die Charaktere der Fette, während die niederen Glieder in jedem Verhältniss mit Wasser mengbar sind. Die höheren Glieder sind geruchlos, die niederen riechen sehr intensiv und die einander nahestehenden Glieder in dem mittleren Abschnitte der Reihe zeigen sehr ähnliche Gerüche u. s. w.

Diese Thatsachen insgesammt und namnntlich aber, dass die niedern Glieder wiederholt (C_2H_2) aufnehmen können, ohne ihren Charakter als Säuren einzubüssen, dass man ohne Aenderung ihrer Sättigungscapazität Cl statt des H in sie einführen kann, bestimmen nach unsern jetzigen Begriffen die Annahme, dass die vorliegenden Körper gepaarte Säuren sind.

Ueber die Natur der Säure und des Paarlings bestehen Differenzen in den Ansichten der Chemiker. Nach Löwig*) besteht der Paarling aus fortlaufend eintretenden (C_2H_2) 1, 2 . . . n und die Säure aus Ameisensäure C_2HO_3; HO, so dass die Reihe das Ansehen

C_2HO_3; HO = Ameisensäure,
(C_2H_2)C_2HO_3; HO = Essigsäure,
2(C_2H_2)C_2HO_3; HO = Propionsäure, und
.
16(C_2H_2)C_2HO_3; HO = Margarinsäure

annehmen würde. — Kolbe**) hält den Paarling des ersten Gliedes (der Ameisensäure) für H, zu dem in den höhern Gliedern noch C_2H_2 hinzutritt; das Säureradikal, welches nach ihm aus C_2 besteht, ist durch O_3 oxydirt, jedoch so, dass diese Kohlenstoff und Sauerstoffatome nicht in der Art der Verbindung sich finden, wie sie in der Oxalsäure vorkommen. Demnach würde unsere Reihe geschrieben werden müssen

$\overset{\frown}{HC_2}O_3$; HO = Ameisensäure,
$\overset{\frown}{(C_2H_3)C_2}O_3$; HO = Essigsäure,
.
$\overset{\frown}{(C_{32}H_{33})C_2}O_3$; HO = Margarinsäure,

wobei die Klammer über dem Paarling und C_2 die besondere Stellung von C_2 zu dem Paarling im Gegensatz zu O_3 andeuten soll.

Die Gründe, welche Kolbe***) für seine Ansicht geltend macht, bestehen in den schon besprochenen Zersetzungs-Erscheinungen unter dem Einfluss des elektrischen Stromes und ferner darin, dass man die Cyanverbindungen des Methyls, Aethyls,

*) Grundriss der organischen Chemie. Braunschweig 1851. p. 35.
**) Annalen der Chemie v. Liebig. 76. Bd. 1.
***) Liebig's Annalen LXV.

Amyls u. s. w. mit Leichtigkeit in Essigsäure, Propionsäure u. s. w. umwandeln kann, indem man statt des N durch Einwirkung von KO, O_3 substituirt, so dass

$(C^2H_3)C_2N$ = Methylcyanür in $(C_2H_3)C_2O_3$ = Essigsäure;

$(C_4H_5)C_2N$ = Aethylcyanür in $(C_4H_5)C_2O_3$ = Propionsäure

u. s. w. übergeführt wird.

Von den physiologisch wichtigen Gliedern jener Reihe erscheint hier erwähnenswerth:

A. Butinsäure (Heintz*)), Arachinsäure (Gössmann); aus den neutralen Fetten der Butter stellte Heintz eine fette Säure dar, mit einem Schmelzpunkt höher als der der Stearinsäure und einem C-Gehalt, welcher 38 Atome übersteigt; er vermuthet darum, dass diese Fettsäure die oben angeführte Zusammensetzung besitzen möchte.

B. Stearinsäure, von Heintz aus den menschlichen Fettgeweben und der Butter dargestellt. Sie erscheint frei, mit Kali und Natron verseift oder mit Lipyloxyd verbunden im Stearin. Ihr Schmelzpunkt liegt bei 69,15° C. 1 Gr. liefert bei vollkommener Verbrennung zu CO_2 und HO = 9700 W.-Einheiten (Fabre und Silbermann).

C. Margarinsäure. Nach Heintz ist die Angabe früherer Untersuchungen, dass eine besondere Säure von der Zusammensetzung $C_{34}H_{34}O_4$ im Menschenfett bestehe, fehlerhaft, weil das krystallinische Produkt dieser Zusammensetzung durch eine besondere Scheidungsmethode in Stearin- und Palmitinsäure zerlegt werden kann. Die Margarinsäure muss demnach so lange aus der Reihe der fetten Säuren des Menschen gestrichen werden, als es nicht erwiesen ist, dass durch das von Heintz eingeschlagene Verfahren eine Atomgruppe von der Zusammensetzung $C_{34}H_{34}O_4$ zerfällt werden kann in zwei andere von der Formel $C_{36}H_{36}O_4$ und $C_{32}H_{32}O_4$.

D. Palmitinsäure; im Palmitin des Fettgewebes und der Butter (Heintz) Schmelzpunkt 62,0° C; 1 Gr. giebt bei vollkommener Verbrennung zu CO_2 und HO = 9420 W.-Einheiten (?).

E. Myristinsäure; im Myristin der Butter (Heintz) Schmelzpunkt 53,8° C. 1 Gr. liefert bei der Verbrennung = 9100 W.-E. (?)

Die bis dahin aufgezählten fetten Säuren erhalten, so weit bekannt, ihre physiologische Bedeutung 1) durch ihre besonderen Adhäsionsverwandtschaften, worüber bei den neutralen Fetten das Weitere, 2) durch die Fähigkeit, sich bei niederen Temperaturen mit Sauerstoff zu verbinden, hiebei Wärme zu entwickeln und die

*) Journ. f. prakt. Chemie LXVI. 1.

Endprodukte CO_2 und HO zu bilden, welche in dem Lebensprozesse erst, wenn sie im Uebermaass vorhanden, störend eingreifen, und sich so leicht aus dem thierischen Körper entfernen lassen, 3) durch ihre geringe Wärmeleitungsfähigkeit, 4) die gleichzeitige Anwesenheit dieser Fettsäure zieht die eigenthümliche Folge nach sich, den Schmelzpunkt des Gemenges noch unter die leicht schmelzbarste Säure des Gemisches zu stellen. So schmilzt u. A. ein Gemenge aus 40 Theilen Stearinsäure und 60 Th. Palmitinsäure bei 56,3° C; ein Gemenge aus 30 Th. Palmitinsäure und 70 Th. Myristinsäure bei 43,0° C; sogar ein Zusatz der schwer schmelzbaren Stearinsäure zu einem Gemenge von Myristin- und Palmitinsäure drückt den Schmelzpunkt des letzteren herab, indem z. B. ein Zusatz von 4 Theilen Stearinsäure einem Gemenge von Myristin- und Palmitinsäure, das bei 46,2° C schmilzt, den Schmelzpunkt 43,8° C ertheilt. Dieses Verhalten erinnert an das analoge leicht schmelzbarer Metallgemische.

Der besondere Gang der Zersetzung, den die aufgezählten Fettsäuren im thierischen Körper einschlagen, um schliesslich zu CO_2 und HO zu werden, ist nicht bekannt; wir wissen nur, dass diese Oxydation geschehen muss, weil wir trotz der grossen Mengen jener Säuren, die wir täglich mit unserer Nahrung geniessen, und aus dieser in das Blut aufnehmen, keine Spuren als solche (Speichel?) der Aussenwelt zurückgeben, und dennoch die Fettmenge im thierischen Körper nicht zunimmt. — Die Vermuthung, dass die Säuren durch eine besondere Art von Gährung allmälig durch immer wiederholte Entziehung von C_2H_2 bis auf HC_2O_3; HO zurückgeführt werden, wird erst dann bewiesen sein, wenn noch die bisher vermissten Zwischenstufen von der Palmitinsäure bis zur Caprylsäure nachgewiesen wären. Die Beobachtung von Heintz*), dass im thierischen Organismus Bernsteinsäure $C_4H_2O_3$; HO vorkomme, erlaubt die Hypothese, dass die Stearinsäure auch noch durch eine andere Reihe von Zersetzungsprodukten in CO_2 und HO übergehen könne, nämlich durch die Reihe der Oxydationsproducte, welche mit der Fettsäure beginnen und mit Bernsteinsäure schliessen. — Die grosse Verbreitung der Säuren und ihre Theilnahme an der Bildung selbst der wichtigsten Organbestandtheile wie jener des Nervenmarks lassen vermuthen, dass sie mit den im Text gemachten Angaben nur in sehr lückenhafter Weise gewürdigt sind.

Sie werden in den Organismus als solche eingeführt.

F. G. H. Capryl-, Caprin- und Capronsäure (Redtenbecher, Lerch). Diese Säuren sind Bestandtheile der Butter, man vermuthet sie seines Geruchs wegen auch im Schweiss. — Ueber ihre Bedeutung nichts bekannt. — Ihr Ursprung kann nach bekannten chemischen Thatsachen möglicherweise ein sehr vielfacher sein; denn sie entstehen beim Faulen der Fette, namentlich der Stearin-, Palmitin- und Oelsäure, bei rascher Oxydation der letzteren, ferner durch Oxydation der eiweissartigen Stoffe.

*) Poggendorf's Annalen LXXX. 114.

I. Buttersäure. Im Harn, in den Fetten der Milch, im Magensaft, im Schweiss (?), Fette des Bluts (?). Ihrer Gegenwart verdankt die flüssige Absonderung mancher Hautstellen (Geschlechtstheile, Füsse etc.) einen eigenthümlichen Geruch.

Die Quellen ihrer Abstammung können möglicher Weise noch mannigfaltiger als diejenigen der Capryl- und Capronsäure sein, da sie sich aus diesen und dann auch noch bei der Gährung milchsaurer Salze bildet, und unter den Fäulnissprodukten des Leims und der eiweissartigen Körper erscheint.

K. Propion(Metaceton)-Säure. Im Schweisse (Lehmann). Ihre Bedeutung dunkel. Für ihren Ursprung sind vielfache Möglichkeiten gegeben, da sie aus Buttersäure, Glycerin etc. entstehen kann.

L. Essigsäure. Im Magensaft (?), der Flüssigkeit des Fleisches (?), im Blut der Branntweintrinker (?) und als essigsaures Eisenoxyd in der Milz. Unter den Bestandtheilen des thierischen Körpers entsteht sie aus Buttersäure, aus Taurin und aus Alkohol*).

M. Ameisensäure. Im Schweiss; im Blut nach Zuckergenuss (?); in der Fleischflüssigkeit (?). — Entsteht durch Oxydationsprozesse aller organischen Thierstoffe.

Capryl-, Capron-, Butter-, Propion-, Essig- und Ameisensäure sollen vorzugsweise durch ihre Verbrennungsfähigkeit und die dabei entwickelte Wärme dem thierischen Körper bedeutungsvoll sein. Man vermuthet, dass sie in dem Maasse, in welchem sie sich bilden, auch wieder zerstört werden, woraus es erklärlich wird, dass trotz der Bildung beträchtlicher Mengen gleichzeitig nur geringe im Thierkörper enthalten seien.

17. Oelsäure. $C_{36}H_{33}O_3$; HO.

Ihre Zersetzungserscheinungen lassen sich theilweise deuten, wenn man sich die Atome in ihr nach der Formel $(C_{32}H_{32})\widehat{C_2}C_2HO_3$; HO (Löwig) geordnet denkt, wonach sie aus Margarinsäure mit dem eingeschobenen C_2 Kern bestände.

Durch Behandlung mit Salpetersäure geht sie nämlich leicht in Margarinsäure, oder in die Zersetzungsprodukte derselben (Fett- bis Bernsteinsäure) über; durch Fäulniss und Oxydation mit rauchender Salpetersäure liefert sie die Säure der Gruppe $C_{2n}H_{(2n-1)}O_3$; HO namentlich von dem Gliede $C_{20}H_{19}O_3$; HO (Caprinsäure) an.

Sie erscheint frei, oder mit NaO und KO (als Seife) oder mit Lipyloxyd (als Olein) verbunden andern Fetten beigemengt.

*) Essigsäure zählt auch zu den organischen Körpern, welche durch Compisition unorganischer gebildet werden können, indem das $Cl_2O_3C_2Cl_3$; HO die sogenannte Chlorkohlenoxalsäure künstlich darstellbar ist, aus welcher durch Behandeln mit Kali und Wasser Essigsäure erzeugt werden kann. (Kolbe.)

Ihre physiologische Bedeutung verdankt sie ausser den allen Fetten gemeinsamen Eigenschaften (mangelnde Adhäsion an Wasser, Oxydationsfähigkeit unter Wärmeentwicklung, schlechte Wärmeleitung) besonders noch ihrem flüssigen Aggregatzustand, wodurch sie zum Lösungsmittel solcher Fette sich eignet, welche bei der Temperatur des menschlichen Körpers fest sind.

Sie wird mit den Nahrungsmitteln in den Körper geführt.

Anhangsweise ist hier die von Gottlieb entdeckte oxydirte Oelsäure $C_{36}H_{32}O_4HO$ zu erwähnen, in welche sich die gewöhnliche Oelsäure beim Stehen an der Luft umwandelt. In dieser muss eine andre Atomlagerung, als in der gewöhnlichen Oelsäure vorhanden sein, da sie andere Zersetzungsprodukte liefert; sie ist zugleich eine kräftigere Säure als die Oelsäure; über ihre weiteren Eigenschaften fehlen die Nachrichten.

19. **Neutrale Fette.** Von den bekannten neutralen Fetten kommen im menschlichen Organismus Stearin, Palmitin, Myristin (?), Caprin, Capronin, Caprylin, Butyrin und Olein vor; die beiden ersteren und das letztere sind vorzugsweise vertreten.

Die neutralen Fette sind Verbindungen, die aus einer der vorhin beschriebenen fetten Säuren mit Glycerin unter Ausscheidung von Wasser entstehen und die umgekehrt unter Bindung von Wasser in eine Säure und Glycerin ($C_6H_8O_6$) zerlegt werden können. Die drei genauer*) untersuchten Fette lassen sich nach Berthelot und Heintz**) am einfachsten auffassen als Verbindungen von 2 Atome Säurehydrat und 1 Atom wasserfreier Säure mit 1 Atom Lipyl- oder Acryloxyd (C_6H_3O). Nach der von Berthelot eingeführten Bezeichnung würden sie also Tristearin, Tripalmitin, Triolein zu nennen sein.

a. Tristearin $= C_{114}H_{104}O_{12} = 2\ (C_{36}H_{35}O_3\,;\ HO) + (C_{36}H_{35}O_3) + C_6H_3O$. Diese Verbindung kann in mehreren durch ihren verschiedenen Schmelzpunkt (55° C und 71,6° C) ausgezeichneten Modifikationen erhalten werden (Duffy, Heintz).

b. Tripalmitin $= C_{102}H_{98}O_{12} = 2\ (C_{32}H_{31}O_3\,;HO) + (C_{32}H_{31}O_3) + C_6H_3O$.

c. Triolein $= C_{114}H_{104}O_{12} = 2\ (C_{36}H_{35}O_3\,;HO) + (C_{36}H_{33}O_3) + C_6H_3O$.

Diese Angaben stützen sich nicht auf Analysen der natürlich vorkommenden Fette, welche niemals rein erhalten werden können, sondern auf die Untersuchung der von Berthelot künstlich dargestellten Verbindungen, und die Uebereinstimmung der Eigenschaften dieser Kunstproducte mit dem natürlich vorkommenden Stoffe.

Diese Eigenschaften, vermöge deren die neutralen Fette den Lebensprocess unterstützen, sind sehr mannigfaltig.

a) Sie leiten katalytische Umsetzungen ein; ein im Thiere vorkommender Gährungsprocess, die Umwandlung des Zuckers in Milchsäure, soll nach Lehmann nur unter gleichzeitiger Mitwirkung der Fette und eiweissartigen Körper geschehen können; ebenso sollen sie durch ihre Gegenwart die Verdauung der eiweissartigen Stoffe im Magen unterstützen.

*) Annales de chim. et physiq. Symc. Ser. 91. 216.

**) Journ. für prakt. Chem. LXVI. 1.

b) Der Einwirkung der Luft ausgesetzt, zerfallen sie unter Aufnahme von O in Glycerin ($C_6H_8O_3$) und die entsprechende Säure; diese Umsetzung ist vor allem dem Olein eigenthümlich; ein Zusatz von Wasser unterstützt diesen Prozess (Berthelot*)). Noch rascher geht diese Umsetzung vor sich, wenn sie in einer Lösung von eiweissartigen Stoffen suspendirt dem Luftzutritt ausgesetzt werden (Pelouze**)). Da nun aber jene Zerfällungsprodukte durch einen katalytischen Prozess bei Zutritt der Luft selbst allmälig in CO_2 und HO verwandelt werden (Redtenbacher), so stellen sie ein Material dar, das bei der Temperatur des menschlichen Körpers unter reichlicher Wärmeentwicklung verbrennt.

c) Von diesem Gesichtspunkt aus erscheint ihre chemische Indifferenz von Bedeutung; hierdurch wird es nämlich möglich, grosse Massen von Fetten im Organismus ohne Störung anderer, dem Leben nothwendiger chemischer Prozesse anzuhäufen, Massen, die angesammeltem Brennmaterial zu vergleichen sind.

d) Vermöge der mangelnden Adhäsion an Wasser sind sie im Stande 1) Tropfen zu bilden, welche möglicher Weise die Zellenbildung unterstützen (Ascherson), und 2) stellen sie die Gewebe dar, welche an der Umsetzung und Diffussion in benachbarten wässerigen Gebilden keinen Theil nehmen; sie leisten demgemäss als constante Ventile, Druckvertheiler und dergl. in den Gelenken, der Fusssohle, der Augenhöhle u. s. w. wichtige Dienste.

e) Da die leicht crystallisirenden Gemenge aus Stearin und Palmitin vermischt mit Olein ihr Crystallisationsvermögen einbüssen (Redtenbacher), so ist jene Mischung der Fette geeignet, an der Bildung mannigfach geformter Gewebe Theil zu nehmen.

f) Da in den Seifen die Fette auflöslich sind, und die Seifen wiederum im Wasser löslich, so geben die Seifen ein Mittel ab, um den Durchtritt der Fette durch Membranen, die im Wasser getränkt sind, zu ermöglichen.

g) Ihr geringes Wärmeleitungsvermögen ist im Stande, die Wärmezerstreuung des thierischen Körpers zu hindern, wenn die auf der Haut angebrachten Wärmeregulatoren (Schweissdrüsen, Horngebilde, glatte Hautmuskeln) nicht mehr hinreichen, die Ausgleichung der Temperaturdifferenzen zwischen dem thierischen Körper und der Aussenwelt zu verhindern (Bergmann, Donders); bemerkenswerth

*) Journ. de Pharm. et de Chimie 3. Ser. Tom. XXVII. Pharmaz. Centralbl. 1855. 321.
**) Compt. rend. XL. 605.

ist darum die Ablagerung der Fette in den Unterhautzellgeweben und namentlich in den Fusssohlen.

Nach Angaben von Reisenden, welche Gelegenheit hatten, Sektionen verstorbener Eskimo's zu unternehmen, soll das einzige Fettlager derselben in dem panniculus adiposus sein, eine Thatsache, mit welcher sich die Angabe von E. H. Weber in Uebereinstimmung findet, dass bei Seehunden alles Fett im Unterhautzellgewebe liege.

h) Wegen ihrer Adhäsion zu den Horngeweben, und ihrer Fähigkeit, den von ihnen durchdrungenen Geweben die Sprödigkeit zu nehmen, sind sie als Erhaltungsmittel der Haare angewendet. Da sie in der Luft nicht verdunsten, so eignen sie sich vorzugsweise zur Lösung dieser Aufgabe.

Unzweifelhaft sind mit diesen die Angaben über ihre Funktionen nicht erschöpft. Denn wenn es auch zweifelhaft ist, ob sie durch ihr geringes spezifisches Gewicht als Ausfüllungsmassen der Knochen u. s. w. bedeutend sind, so weisst doch ihre Betheiligung an der Gallenabsonderung, an dem Nervenmark u. s. w. unzweifelhaft noch auf wichtige uns unbekannte Verrichtungen hin.

Die Fette werden vom Menschen grösstentheils als solche aufgenommen; zum Theil dürften sie auch aus andern Nahrungmitteln gebildet werden. Ob aus Amylon der Nahrung oder wachsartigen Bestandtheilen derselben ist noch ungewiss.

20. Olephosphorsäure; (Fremy). In Verbindung mit Kalien ein Bestandtheil des Hirns, der Nerven, der Muskeln und verschiedener anderer Gewebe; sie zerfällt in Olein und Phosphorsäure, lässt sich aber nicht künstlich durch Zusammenbringen beider darstellen.

21. Cholestearin; Bestandtheil des Bluts, Galle, Eiters, in Zellen, die in Fettumwandlung begriffen, im Hirnfett und Eigelb, im Koth.

Die Zusammensetzung des wasserfreien wird nach den Resultaten der Elementaranalyse am einfachsten ausgedrückt durch $C_{28}H_{24}O$, die des aus Alkohol crystallisirten nach Heintz*) durch $C_{28}H_{24}O + HO$.

Seine Zersetzungen geben über die Atomlagerung keinen Aufschluss.

Seine physiologische Bedeutung und Entstehung ist unbekannt; in einem geringen Grade ist es in Seifen, leichter in glyco- und tauro-cholsaurem Natron löslich. — Jedenfalls muss es im thierischen Körper entstehen, da es niemals als Bestandtheil der Pflanzen auftritt. Da es nur in sehr geringen Mengen als solches aus dem Organismus ausgeschieden wird, so muss es in demselben zerlegt werden. Mit Rücksicht hierauf verdient die Beobachtung von Redtenbacher Beachtung, dass es durch Salpetersäure in Cholestearinsäure ($C_8H_4O_4$; HO) und in Essig-, Butter-, Capronsäure gepalten wird.

*) Pogendorf's Annalen LXXIX. 524.

22. Lecithin (Gobley) eine phosphorhaltige fettartige Substanz, in den Fetten des Bluts und der Eier enthalten. In Säuren, Alkalien, Wasser und Alkohol zerfällt es ohne Beihilfe der Luft in Oleinsäure, Margarin-, Stearin-, Palmitin- und Phosphoglycerinsäure.

23. Cerebrinsäure (Fremy), Cerebrin (Gobley) in den Blut- und Hirnfetten. Ein stickstoff- und phosphorhaltiger fettähnlicher Körper, der im warmen Wasser aufquillt, und mit Basen Salze bildet nach Fremy = $C_{54}H_{50}N_1O_{12}$ (?).

24. Glycerin, Oelsüss. $C_6H_7O_5$; HO. Wir vermuthen, dass der freie Glycerin als Umsetzungsprodukt der fetten Säuren (bei der Verseifung und Gährung derselben) im Thierkörper vorkomme; ausserdem erscheint es nach Gobley unter den Hirnfetten gepart mit PhO_5 als Glycerinphosphorsäure = Gl, PhO_5; 2HO.

Seine Zersetzungen sind mannigfaltig, durch Gährung in Gegenwart von Kreide und Käse bei 40° C. geht es in Alkohol und andere Produkte (Berthelot), im Gemenge mit faulenden Stoffen in Propionsäure ($C_6H_6O_4$), durch Oxydation mit Chlor in Ameisensäure, durch NO_5 in Oxalsäure, Kohlensäure und Wasser, durch trockne Destillation in Acrolein über. — Von diesen Umsetzungen dürften nur die ersteren für den Physiologen von Bedeutung sein.

Gelangt mit den Fetten (als Lipyl- oder Acryloxyd) in den Organismus; die Glycerinphosphorsäure auch als solche beim Genuss von Eidotter.

25. Cellulose und Amylon. Nach der merkwürdigen Beobachtung von Virchow *) als corpus amylaceum in dem Hirn, den Nerven und der Milz; nach Bernard ein ähnlicher Stoff in der Leber.

26. Zuckerarten. Man beobachtet im thierischen Organismus den Milch-, Trauben- und Muskelzucker.

A. Milchzucker = $C_{12}H_1O_1$ + aq. (Krause, Staedeler, Liebe) (im crystallinischen Zustand). Er findet sich in der Frauenmilch.

Von den sehr zahlreichen Umsetzungserscheinungen, welche bekannt sind, dürften, da sie noch zu keiner Vorstellung über die Atomlagerung geführt haben, nur folgende für den Physiologen interessant sein. — Auf katalytischem Wege ändert er sich unter dem Einfluss verdünnter SO_3 und beim Stehen an der Luft in Traubenzucker um (dieses bestreitet Pasteur**)); bei Gegenwart von Casein, Fetten und $CaOCO_2$ geht er in Milchsäure über; durch gewöhnliche Hefe entwickelt sich allmälig Alkoholgährung. — Mit SO_3 und chromsaurem Kali erwärmt bildet er das Aldehyd der Essigsäure [C_4H_3O; HO] und Ameisensäure. Mit Kalkhydrat erwärmt bildet sich neben andern Produkten essigsaurer Kalk.

Mit den Nahrungsmitteln und namentlich der Milch wird er aufgenommen. Sein Vorkommen in der Frauenmilch ist unabhängig von der Art der Nahrungsmittel, da ihn Bensch auch beim Genuss

*) Compt. rend. XXXVII. 492.

**) Compt. rend. 42. 347.

reiner Fleischspeisen vorfand. Er muss sich also aus andern Substanzen im Thierkörper bilden können.

B. Traubenzucker, Harnzucker = $C_{12}H_{12}O_{12}$ + 2 aq. (crystallisirt). Im Darmkanal während der Verdauung des Amylons; im Blut, vorzüglich im Blut der Lebervene; in der Lymphe der Extremitäten und des Kopfs; im Chylus; im Lebergewebe. Im Harn nach mehlhaltiger Nahrung?

Unter seinen zahlreichen Zersetzungen erregen Interesse: — 1) *) Die Gährungen, und zwar a) Alkoholgährung. Ihre Produkte sind Aethylalkohol, CO_2, Bernsteinsäure, Mannit? und zuweilen Amylalkohol; Bedingungen ihres Eintritts resp. ihrer Unterhaltung, bestehen in Gegenwart von 4—10 Thl. aq., einer Temperatur von 4 bis 30° R. und eines sogenannten Ferments, und im Momente des Eintritts, im Vorhandensein einer geringen Menge von O. — Die Fermente sollten, wie man glaubte, nur dann wirksam sein, wenn sie in Form sogenannter Hefenpilze auftreten; durch Untersuchungen von Struve, Döpping, Mulder, Schmidt, Schleiden, Karsten, denen sich neulich die von Berthelot**) angereiht haben, ist das Gegentheil erwiesen. Sehr bemerkenswerth ist es, dass durch sog. Gifte, Quecksilber, Arsenik, Kupfersalze, Kleesäure, schweflige Säure, Blausäure, kaustische Kalien die Gährung unterbrochen wird. — b) Schleimige Gährung. Wässerige Zuckerlösung mit einer Abkochung von Alkoholhefe versetzt, entwickelt bei einer Temperatur von 24—30° R. H und CO_2 im Verhältnisse von 1 : 2; es bleibt neben Milchsäure ein schleimiger Körper zurück, der aus Mannit ($C_8H_9O_8$) und Gummi besteht. — c) Milchsäuregährung bei gleichzeitiger Gegenwart von Eiweiss, Käsestoff, neutralen Fetten, und kohlensauren Alkalien setzt sich der Traubenzucker, in einer Temperatur von 15—38° C in Milchsäure und Wasser und zu einem kleinen Theil in Mannit um. — 2) Mit schmelzendem Kali behandelt, liefert er Essig-, Propion-, Ameisen-, Oxal-, Kohlensäure und Wasserstoff. — Mit Cl-Mischung erhitzt giebt er Chloral, Ameisensäure und ein chlorhaltiges Oel.

Mit den Nahrungsmitteln wird er aufgenommen; nachweislich bildet er sich aber auch unter dem Einfluss des Speichels und Pankreassaftes aus dem Amylon. Ausser diessen müssen noch andere Quellen seiner Bildung vorhanden sein, da er nach Bernard in der Leber beobachtet wird, selbst wenn die Thiere weder Amylon noch Zucker geniessen. Lehmann***) giebt an, dass er aus dem Blutroth abgespalten werden könne.

C. Muskelzucker†), Inosit = $C_{12}H_{12}O_{12}$ + 4 Aq. (crystallisirt). (Scherer.) Spärlich in der Flüssigkeit des Herzmuskels; reichlicher im Lungen- und Nierenextract (Cloetta††)); im Hirn (W. Müller†††)).

*) Liebig, Art. Gährung im Handwörtb. d. Chemie. III. Bd.
**) Comp. rend. 43. Bd. 256.
***) Correspondenzblatt des Vereins für gemeinsame Arbeiten. 1855. 157.
†) Scherer. Eine neue Zuckerart. Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaft in Würzburg. I. Bd. p. 51 u. Annalen d. Chemie. 1852. Märzheft.
††) Pharmazeut. Centralblatt 1855. 914.
†††) Ueber die chemischen Bestandtheile des Gehirns. Erlangen 1857.

Von seinen Zersetzungen ist nur bekannt, dass er nicht in die weingeistige, wohl aber in die milchsaure Gährung übergeht.

Seine Quelle ist unbekannt.

Physiologische Bedeutung der Zuckerarten. — Bei ihrer Leichtlöslichkeit im Wasser und ihrer Neigung zur Crystallisation eignen sie sich nicht zur Gewebebildung. Sie können darum nur durch ihre Verwandtschaften das Leben unterstützen; so weit bekannt leisten sie dieses vorzugsweise durch ihre näheren und entfernteren Umsetzungsprodukte und namentlich durch ihre Umsetzung in Milchsäure (siehe diese) und aus dieser in Buttersäure. Ob innerhalb des Organismus der Zucker auch in die hohen Glieder der $C_{2n}H_{(2n-1)}O_3$; HO Gruppe übergeht, steht noch dahin. — Jedenfalls liefern die im Zucker enthaltenen C und H Atome schliesslich CO_2 und HO. Man kann dieses mit Sicherheit behaupten, weil kein Excretionsorgan Zucker oder irgend ein anderes Zersetzungsprodukt desselben aus dem Organismus ausstösst. Bei diesem Uebergang entwickeln sie eine beträchliche Menge von Wärme, die den thierischen Funktionen zu Gute kommt.

27) Milchsäurehydrate. $C_6H_5O_5$; HO.

Im menschlichen Körper erscheinen 2 Hydrate der Milchsäure, die sich durch einen verschiedenen Crystallwassergehalt ihrer Salze unterscheiden: a Milchsäure ist ein Bestandtheil der Flüssigkeit des angestrengten Muskels (Berzelius, E. Liebig, du Bois-Reymond). b Milchsäure ist dagegen die, welche sich im Magen- und Darmsaft während der Verdauung, als milchsaures Eisenoxyd in der Milz (Scherer) und in allen Absonderungen bei der Zuckerdyskrasie (Diabetes mellitus) findet.

Die Atomlagerung in der b Milchsäure ist nach Strecker wahrscheinlich $(C_4H_4O_2)$ C_2HO_3; HO d. h. eine mit dem Aldehyd der Essigsäure gepaarte Ameisensäure. — Die Gründe, die hierfür sprechen, liegen in der Erscheinung 1) das milchsaures Kupferoxyd für sich destillirt, ausser einer neuen Säure, Kohlenoxyd, Kohlensäure und auch Aldehyd der Essigsäure liefert; 2) dass die b Milchsäure mit Chlormischung destillirt, Chloral $(C_4Cl_3HO_2)$ d. h. ein Aldehyd liefert, in welchem 3 Atom H durch 3 Atom Cl vertreten sind; 3) dass die b Milchsäure mittelst salpetriger Säure aus einem Stoff, dem Alanin*) $(C_6H_7NO_4)$, gebildet werden kann, welcher aus Aldehyd und Blausäure, unter Aufnahme von 2 Atom Wasser, entsteht. — Aus dieser Annahme erläutern sich freilich die physiologisch wichtigen Umsetzungen

*) Strecker, Liebig's Annalen LXXV. 27.

der Milchsäure nicht, wenn sie in ihren alkalischen Verbindungen mit Käsestoff einer Temperatur von 15—30° R. ausgesetzt wird; in diesem Fall verwandelt sie sich nämlich unter Entwicklung von CO_2 und H in Buttersäure.

Vermittelst ihrer Eigenschaft, unter Beihilfe eines besonderen Fermentköpers, des Pepsins, die im Wasser unlöslichen eiweissartigen und leimgebenden Substanzen in lösliche Modificationen zu verwandeln, soll sie im Magensaft (Lehmann) wichtig werden. Ausserdem gehört sie zu den mannigfachen Säuren, deren kalische Salze im thierischen Körper in kohlensaure umgewandelt werden können, ein Vorgang, durch den sie offenbar zur Wärmeerzeugung im lebenden Wesen beiträgt.

Die Milchsäure wird theils mit den Nahrungsmitteln aufgenommen, theils aus ihnen, und namentlich aus den zuckerhaltigen, gebildet.

28. Phenylsäure $C_{12}H_6O$; HO.
29. Taurylsäure $C_{14}H_8O$; HO.
30. Damalursäure $C_{14}H_{11}O_3$; HO.
31. Damolsäure.

Diese 4 Säuren sind von Staedeler*) im Harn in Spuren nachgewiesen. Eigenschaften, durch die sie physiologisch bedeutend würden, sind nicht bekannt. Vorerst sind sie nur merkwürdige Zersetzungsprodukte. Man vermuthet, dass die ersten beiden Säuren (Phenyl- und Taurylsäure) aus salizinhaltigen Bestandtheilen der Nahrung, Damalur- und Damolsäure aber aus eiweissartigen Bestandtheilen entstanden sein möchten.

32. Hippursäure. $C_{18}H_8NO_5$; HO. Sie ist spurweise im Blut und ausserdem nach Genuss von Gemüse, Benzoe- und Zimmtsäure, im Harn aufgefunden.

Ihre Atomlagerung wird verschiedentlich ausgedrückt; entweder durch $(C_4H_3NO_2)\frown C_{14}H_5O_3$; HO, d. h. durch Benzoesäure, welche mit einer Atomgruppe gepaart ist, die sich durch 2 aq. vom Glycocoll unterscheidet. Zu dieser Aufstellung wird man geführt, weil Hippursäure unter dem Einfluss mineralischer Säuren in Glycocoll und Benzoesäure zerfällt, weil sie durch Einwirkung von Chlorbenzoyl auf eine Verbindung von Glycocoll mit Zinkoxyd künstlich dargestellt werden kann (Dessaignes), und weil endlich nach dem Genuss von Benzoesäure ein der genossenen Menge entsprechendes Gewicht Hippursäure im Harn beobachtet wird; man ist geneigt anzunehmen, dass jene Benzoesäure auf ihrem Wege durch den thierischen Körper sich mit dem Atomcomplex $C_4H_3NO_2$ verbunden habe, weil dieser schon im thierischen Körper beobachtet ist; ausserdem entwickeln noch zahlreiche Einflüsse, z. B. trockne Destillation, die Fäulniss aus ihr Benzoesäure. — Dieser Betrachtungsweise hält man eine von Fehling beobachtete Umsetzung entgegen, wonach durch Bleihyperoxyd aus der Hippursäure Benzamid $(C_{14}H_7NO_2)$ erhalten werden kann, ein Vorkommen, was man mit der Praeexistenz

*) Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 1850. — Lieb. Annalen 1850.

von Benzoesäure unverträglich findet, weil die letztere schwerlich durch oxydirende Mittel jene Umwandlung erfahren würde. — Strecker drückt ihre Atomstellung durch $(NH_2)\frown C_{18}H_6O_5$; HO aus, da sie sich unter dem Einfluss von salpetriger Säure (NO_3) in NO, HO und $C_{18}H_7O_7$; HO, ähnlich den sogenannten Amidsäuren spaltet.

Ihre physiologische Bedeutung ist unbekannt. Sie muss innerhalb des Thierkörpers entstehen, da sie niemals als Nahrung genossen wird. Die Entdeckung, dass sie im Harn nach Aufnahme von Benzoe- und Zimmtsäure erscheint, verspricht für den Stoffumsatz von Interesse zu werden.

Benzoesäure, welche man früher als Harnbestandtheil annahm, ist in diesem nur als Zersetzungsprodukt der Hippursäure anzusehen, da sie niemals im frischen, sondern nur im faulenden Harn vorkommt.

33. Glycocholsäure (Cholsäure, Strecker). $C_{52}H_{42}NO_{11}$; HO. Die Natronverbindung derselben ist ein wesentlicher Bestandtheil der Galle. Strecker betrachtet dieselbe als $(C_4H_3NO_2)\frown C_{48}H_{39}O_9$; HO.

Die Zersetzungserscheinungen, welche diese Vorstellung begründen, sind: durch kochendes Kali und Fäulniss zerfällt unter Wasseraufnahme die Glycocholsäure in Glycocoll $(C_4H_5NO_3)$ und Cholsäure (Cholalsäure von Strecker) $C_{48}H_{39}O_9$; HO. — Durch kochende Salzsäure in Choloidinsäure $C_{48}H_{39}O_9$ (eine im freien Zustand wasserfreie Säure) und Glycocoll. Ohne Zusammenhang mit dieser Erklärungsweise steht die Erfahrung von Staedeler und Frerichs, dass conzentrirte Schwefelsäure in der Kälte und Wärme einen Körper aus ihr darstellt, der beim Zutritt von Sauerstoff sich in einen Farbstoff verwandelt, welcher die wesentlichsten Reactionen mit dem Gallenfarbstoff theilt.

Eine besondere Untersuchung über ihre physiologischen Eigenschaften fehlt; die Säure wird implizite bei der Galle erwähnt werden; vollkommen unbekannt ist ihre Entstehung; keine der zahlreichen Hypothesen, welche man über diese aufstellte, ist vorerst beweisbar.

34. Taurocholsäure (Choleinsäure, Strecker). Ein Gallenbestandtheil. Obgleich diese Säure nicht rein dargestellt oder wenigstens in reinem Zustande nicht analysirt ist, so lässt sich doch behaupten, dass ihre Zusammensetzung durch $C_{52}H_{44}NO_{13}S_2$; HO ausgedrückt werde. Ihre moleculare Constitution soll durch $(C_4H_5NO_4S_2)\frown C_{48}$ $G_{39}O_9$; HO ausgedrückt sein.

Entfernt man aus der crystallisirten Galle des Ochsen möglichst alle Glycocholsäure und behandelt den schwefelhaltigen Rückstand mit KO oder Säuren, so zerfällt er in Taurin $(C_4H_7NO_6S_2)$, Glycocoll und Cholsäure; dieser Rückstand besteht demnach aus Cholsäure, welche zum Theil mit einem dem Glycocoll, zum andern Theil mit einem

dem Taurin ähnlichen Atomcomplex gepaart ist. Macht man nun die der Analogie mit der Glycocholsäure wegen wahrscheinliche Voraussetzung, dass in der Taurocholsäure ebenfalls Taurin weniger 2 Atom Wasser als Paarling der Cholsäure auftrete, bestimmt man dann den S-Gehalt des Gemenges, so kann man aus demselben den Gewichtsantheil der hypothetischen Taurocholsäure berechnen, und hieraus den Wasserstoffgehalt des Gemenges; dieser hypothetische Wasserstoffgehalt kann dann durch eine direkte Bestimmung controllirt werden, eine Bestimmung, welche in der That die Schlusskette bestätigt hat.

35. Cholsäure $C_{48}H_{39}O_9; HO$. Der Einwirkung der Fäulniss oder kochender Salzsäure ausgesetzt, verwandelt sie sich unter Abgabe von HO in harzige Stoffe, als deren schliesslicher Dyslysin ($C_{48}H_{36}O_6$) angesehen wird. Die zwischen Cholsäure und Dyslysin in der Mitte liegenden Produkte sind noch nicht ermittelt. Demarcay und Strecker halten sie für Choloidin-, Berzelius und Mulder für Cholin- und Fellinsäure. — Diese harzartigen Körper und namentlich die sogenannte Choloidinsäure giebt mit NO_5 gekocht nach Redtenbacher flüchtige Fettsäuren $C_{2n}H_{(2n-1)}O_3; HO$ und eine grössere Zahl anderer complizirter Produkte. Lehmann giebt an, auch die Säuren der Bernsteinsäuregruppe mit Ausnahme der Sebacylsäure durch Destillation der Cholsäure erhalten zu haben. — Die aus diesen Thatsachen geschehene Folgerung, dass die gegliederte Formel der Cholsäure $(C_{12}H_6O_6)\frown C_{36}H_{33}O_3; HO$ sei, d. h. eine mit einem sogen. Kohlenhydrat gepaarte Oelsäure, ist so gewagt, dass sie durch die Angabe: Lebervenenblut enthalte weniger ölige Fette als das Pfortaderblut u. dergl., noch nicht einmal den Schein der Wahrscheinlichkeit annimmt. — Staedeler und Frerichs*) sehen sie an als gepaart aus Saligenin mit einem der Ricinusölsäure homologen Fette ($C_{14}H_8O_4 + C_{34}H_{31}O_5; HO$).

36. Harnsäure. $C_5HN_2O_2; HO$ theils frei, vorzugsweise als harnsaures Natron und Ammoniak im Harn, Blut, (Schweiss?) und nach Scherer**) im Milzextrakt; nach Cloëtta im Extrakt der Lunge und Nieren; nach W. Müller im Hirn.

Ihre bisher bekannt gewordenen sehr zahlreichen Zersetzungen führen noch auf keine rationelle Formel.

Für den Physiologen ist es bemerkenswerth, dass sie durch gelinde Oxydationsmittel in Atomgruppen zerfällt werden kann, welche Bestandtheile des thierischen Organismus sind. So verwandelt sie sich mit Wasser und Bleisuperoxyd gekocht in Allantoin, Harnstoff, Kleesäure, Kohlensäure (Liebig und Wöhler), oder in Allantoin, Allantursäure, Kleesäure, Kohlensäure und Spuren von Harnstoff (Pelouze). — Aehnliches bewirkt übermangansaures Kali (Gregory). — Durch chlorsaures Kali und Salzsäure zerfällt sie in Alloxan und Harnstoff (Schlieper). — Durch Kaliumeisencyanid und Kali in Allantoin und Kohlensäure (Schlieper).

Ihre Neigung zur Crystallisation macht es ihr unmöglich, Antheil an Gewebsbildungen zu nehmen; vermöge der Schwerlöslichkeit der

*) Züricher Verhandlungen. IV. Bd. — Müller's Archiv, 1856.
**) Liebig's Annalen 73. p. 330.

freien Säure sowohl, als der sauren Salze (welche vorzugsweise vorkommen), wird ihre Anhäufung im thierischen Körper gefährlich. — Man darf vermuthen, dass sie innerhalb des Blutes einen Umsetzungsprozess erleidet, zu dessen Produkten Harnstoff und Kleesäure zu zählen sind; nach dem Genuss von Harnsäure vermehrt sich nämlich der Gehalt des Urins an Harnstoff und Kleesäure.

Da Harnsäure kein Nahrungsbestandtheil ist, so muss sie im Thierleib gebildet werden. Wie ist unbekannt.

37. Harnige Säure $C_5H_2N_2O_2$. Zuweilen in Harnsteinen gefunden. Da man ihr Atomgewicht nicht aus Verbindungen bestimmt und ihre Zersetzungsprodukte nicht untersucht hat, so muss die Hypothese, welcher sie den Namen verdankt, noch als sehr unsicher betrachtet werden.

38. Hypoxanthin*) $C_5H_2N_2O$ (Scherer). In dem Herzmuskel, der Milz, der Leber, dem Blute Leukämischer. Sein gleichzeitiges Vorkommen mit Harnsäure im Milzextract erscheint bei der Aehnlichkeit der Zusammensetzung beider bedeutungsvoll.

39. Inosinsäure. $C_{10}H_6N_2O_{10}$; HO (Liebig). In der Flüssigkeit der Muskeln. Ueber Zersetzung, Bildung, Atomlagerung u. s. w. derselben ist nichts bekannt.

40. Hydrotsäure $C_{10}H_9N_1O_{11}$ (Fabre). Im Schweiss.

41. Taurin $C_4H_7NO_6S_2$ (Redtenbacher). In dem Lungensafte (Cloëtta) und in den Muskeln der Mollusken (Fremy). Aus der Taurocholsäure durch Fäulniss und durch Behandlung mit kochender Salzsäure darstellbar.

Ueber seine innere Anordnung verspricht die künstliche Darstellung derselben aus isäthionsaurem Ammoniak NH_4O; $C_4H_5S_2O_7$ durch Verjagung von 2 Atom Wasser (Strecker) und seine Zerfällung in schwefelige Säure, Aldehyd ($C_4H_4O_2$) und NH_3 (Redtenbacher) Aufschluss.

Wie es im Körper entsteht und vergeht, und wodurch es Bedeutung erlangt, ist unbekannt.

42. Cystin $C_6H_6NO_4S_2$. In dem ausgepressten Saft der Nieren (Cloëtta), in der Leber (Scherer), zuweilen im Harn und im Harnsteine.

Von den wenigen bis dahin bekannten Eigenschaften ist das Verhalten seines S interessant, der durch Erwärmen des Cystins mit Baryt theilweise (?) ausgeschieden wird.

43. Allantoin $C_8H_5NO_{4.5}$; HO. In der Allantoisflüssigkeit, zuweilen im Harn (nach Athembeschwerden?) (Staedeler und Frerichs). Ein Umsetzungsprodukt der Harnsäure.

Von seinen Umsetzungen ist hervorzuheben: durch Gährung mit Weinhefe zerfällt es in Harnstoff, oxalsaures und kohlensaures Ammoniak und in einen saueren Syrup

*) Scherer, Liebig's Annalen 73. p. 328.

(Wöhler); durch kochendes KO und SO_3 in Ammoniak und Oxalsäure; durch Salpetersäure in Harnstoff und Allantursäure ($C_{10}H_7N_4O_9$ = 2 Atom Harnsäure + 3 HO).

44. Tyrosin $C_{18}H_{11}NO_6$. In der Flüssigkeit der Milz und Pankreas; im Harn Leberkranker und in der Leber (Frerichs und Staedeler); Zersetzungsprodukt der Eiweissstoffe durch Fäulniss, KO, SO_3, ClH (Liebig, Bopp); des Horns und Haematins durch SO_3 (Leyer und Köller).

Nach Frerichs und Staedeler ein mit Glycin gepaartes Saligenin, aus denen 2 HO ausgetreten ($C_4H_5NO_4$ + $C_{14}H_8O_4$).

45. Leucin $C_{12}H_{13}NO_4$. In den Bauch- und den Kopfspeicheldrüsen und ihren Säften. In der Milz, den Lymphdrüsen, Schilddrüse, Thymus, Gehirn (?), Lungenflüssigkeit und in der kranken Leber (Frerichs, Staedeler, Cloëtta). Zersetzungsprodukt der Eiweissstoffe, des Collagens und Chondrigens, des elastischen Gewebes und Horns.

Beim längern Stehen an der Luft bildet sich aus ihm Leucinsäure ($C_{12}H_{12}O_6$); durch KO in Ammoniak, H, Valerian- und Buttersäure; durch Stickoxyd in Leucinsäure und N gas. Künstlich darstellbar aus Thialdin ($C_{12}H_{13}NS_4$) durch Erhitzen mit Silberoxyd (Gössmann). Diese Thatsachen bestimmen die Analytiker es als Amid der Leucinsäure anzusehen. Die Leucinsäure betrachtet man aber als Ameisensäure, die mit dem Aldehyd der Valeriansäure gepaart ist.

46. Glycin $C_4H_4NO_3$;HO. Zersetzungsprodukt der Glycocholsäure, der Hippursäure, des Colla- und Chondrigen.

Man betrachtet es als das Amid der Glycolsäure ($C_4H_4O_6$); diese Säure ist, worauf Strecker aufmerksam macht, homolog mit Milchsäure ($C_6H_6O_6$) und Leucinsäure ($C_{12}H_{12}O_6$).

47. Sarkin $C_{10}N_4H_4O_2$. Polymer mit dem Hypoxanthin, aber nicht mit ihm identisch. In dem Extract der Muskeln (Strecker).

48. Kreatin $C_8H_9N_3O_4$ + 2 Acq. In der Flüssigkeit angestrengter Muskeln und im Harn (Liebig).

Durch Kochen in starken Säuren und durch Fäulniss in Kreatinin verwandelt. Mit Barytwasser gekocht in Sarcosin ($C_6H_7NO_4$) und Harnstoff umgesetzt. Man betrachtet es darum als ein Paarling von Sarcosin und Harnstoff weniger 2 HO. Durch Quecksilberoxyd in oxalsaures Methyluramin ($C_4H_7N_3$; HO; C_2O_3), demnach lässt es sich auch ansehen als glycolsaures Methyluramin weniger 2 HO. Die Zersetzungserscheinungen des letzten Stoffes führten auf die Annahme, dass er aus Harnstoff mit Methylamin weniger 2 HO ($C_2H_4N_2O_2$ + C_2H_5N − 2 HO = Methyluramin) bestehe.

Ist wie die vorstehenden Körper durch seine neutralen Eigenschaften ein unschädliches Umsetzungsprodukt der Muskelsubstanz.

49. Kreatinin $C_8H_7N_3O_2$. In den Muskeln und dem Harn (Liebig). Aus seiner Chlorzinkverbindung abgeschieden, verwandelt es sich in Kreatin (Heintz). Ist ein Zersetzungsprodukt der Muskeln.

50. Harnstoff $C_2H_4N_2O_2$. Im Harn, Blut, humor aqueus bulbi.

Seine Salzverbindungen und Umsetzungen führen entweder auf die Annahme, dass er eine gepaarte Ammoniakverbindung ($C_2 HNO_2) NH_3$ oder Carbamid (CO, NH_2) sei.

Denn bei seiner Verbindung mit Sauerstoffsäuren nimmt er noch 1 Aeq. Wasser auf. Nach Wurtz*) gelingt es, Harnstoffe darzustellen, in welchen 1 oder 2 Atom Wasserstoff durch Amyl, Aethyl, Methyl etc. vertreten sind, wie dies auch beim Ammoniak geschieht; durch Fäulniss, verdünnte Säuren und Alkalien geht er unter Wasseraufnahme in Kohlensäure und Ammoniak über; und nach Natanson**) kann er dargestellt werden durch Zusammenbringen von Phosgengas und Ammoniak.

Wegen seiner Leichtlöslichkeit eignet er sich nicht zum Gewebsbestandtheil. Er stellt das Produkt dar, durch welches vorzugsweise die eiweisshaltigen Bestandtheile der Nahrungsmittel aus dem Thierkörper wieder ausgeschieden werden. Unter diesem Gesichtspunkt erhält seine chemische Indifferenz gegen die wesentlichen Bestandtheile des Thierkörpers und seine Zerfliesslichkeit eine besondere Bedeutung, indem diese Eigenschaft seine Anhäufung in den Organen in gewöhnlichen Verhältnissen unmöglich, und, sollte sie auch einmal eintreten, unschädlich macht. — Weil er bei Gegenwart von Wasser und Fermenten in kohlensaures Ammoniak umgewandelt wird, bedingt er häufig einen ammoniakalischen Urin.

Der Harnstoff ist kein Nahrungsmittel; er bildet sich nachweisslich zu jeder Zeit in dem Thierkörper und zwar besonders reichlich 1) nach Muskelanstrengungen, selbst wenn lange Zeit vorher keine Nahrungsmittel aufgenommen wurden; — 2) nach Genuss von Fleischspeisen, Glycocoll, Alloxantin, Thein, Harnsäure, auch ohne besondere Muskelanstrengungen.

51. **Farbstoffe.** Keiner der thierischen Farbstoffe hat eine der Schwierigkeit des Gegenstandes entsprechende Untersuchung gefunden.

A. Haematin $C_{44}H_{22}N_3O_6Fe$ (Mulder) oder $C_{14}H_8NO_2 + Fe$ (Robin***)) in den Blutkörperchen und in den normalen Harnfarbstoffen (Harlay †)).

Durch conzentr. SO_3 in der Kälte in Fe und Haematoidin ($C_{44}H_{22}N_3O_6$) (Mulder) oder ($C_{14}H_8NO_2$; HO) (Robin). Derselbe Stoff bildet sich auch im Blutextravasate, wo er krystallinisch erscheint. Lehmann schied Zucker, Leyer und Köller Tyrosin und Leucin aus dem Haematin.

Von hoher Bedeutung wird es, weil es gewöhnlichen Sauerstoff in erregten umwandelt (Hiss).

B. Gallenfarbstoffe: 1) Biliphain = $C_{32}H_{18}N_2O_9$ (Heintz); 2) Biliverdin = $C_{16}H_9NO_5$ (Heintz). In der Galle, der Darmflüssigkeit, Blut, Harn u. s. w. Wahrscheinlich Zersetzungsprodukte der Gallensäure, welche durch SO_3 in Farbstoffe

*) Comp. rend. Tom. XXXII. 414.
**) Liebig's Annalen 98. Bd. 287.
***) Compt. rend. XLI. 506.
†) Würzburger Verhandlungen. V. 1. 1854.

mit ähnlichen Reaktionen umgewandelt werden können; diese Umwandlung vermag auch der thierische Körper zu veranlassen; bringt man die Gallensäure in das Blut der Hunde, so erscheint eine reichliche Masse von Gallenfarbstoff im Harn (Frerichs, Staedeler). Biliphain kann durch Oxydation in Biliverdin übergehen. — 3) Bilifulvin nach Virchow krystallinisch. — 4) Cholepyrrhin; beide nur dem Namen nach bekannt.

C. Harnfarbstoffe. Ausser dem schon erwähnten Blutroth ein brauner und braunrother Stoff, vielleicht Gallenfarbstoffe; zuweilen ein blauer Körper, der die Reaktionen des Indigo darbietet (Heller, F. Simon, E. Mitscherlich u. s. w.)

D. Pigmentum nigrum. Melanin. Erscheint ebenfalls amorph und krystallinisch. Die verschiedenen Analysen, die über diesen Stoff vorliegen, machen es wahrscheinlich, dass das, was wir schwarzen Farbstoff nennen, ein Gemenge sehr verschiedener Substanzen ist. Die Analysen stimmen in keiner Weise. (Siehe die Literatur bei Virchow, patholog. Pigmente. Dessen Archiv p. 434 u. f.) Ueber seine physiologische Bedeutung siehe bei der Spiegelung im Auge.

51. Eiweissartige Stoffe. Unter den Bestandtheilen des menschlichen Körpers finden sich aus dieser grossen Gruppe:

A. Eiweiss, Albumin. In 100 Theilen enthält es $C_{35,3} H_{7,1} N_{15,7} O_{22,0} S_{1,8}$ (Lieberkühn*). Aus den neutralen Verbindungen des löslichen Eiweisses mit Alkalien und Metalloxyden leitet der genannte Chemiker die Formel $C_{72} H_{36} N_9 O_{22} S_1$ ab. Mit ihm kommt meist phosphorsaurer Kalk zu 1,8—2,51 pCt. verbunden vor. Man kennt drei Modificationen desselben. 1) Lösliches durch Hitze gerinnbares Eiweiss. Bestandtheil der Säfte aller Organe, des Bluts, des Chylus, der Lymphe, Pankreasflüssigkeit, des Samens und der Milch (?). — In allen andern Flüssigkeiten häufig pathologisch. 2) Paralbumen (Scherer**)) in der Flüssigkeit hydropischer Ovarien. 3) Geronnenes Eiweiss; vorzugsweise als Nahrungsmittel von Bedeutung, da es in unsern Organen und Säften noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen ist.

B. Faserstoff. Man unterscheidet unter den Namen Blut- und Muskelfibrin zwei Arten von Faserstoff, von denen eine jede abermals mindestens in zwei Modifikationen, als flüssiger und geronnener Faserstoff, auftritt. — 1. Blutfibrin (mit Blutkörperhüllen verunreinigt) in 100 Theilen $C_{52,7} H_{6,9} N_{5,4} O_{23,5} (Ph_{0,3}\ ?) S_{1,2}$ (Mulder). Die flüssige Modifikation erscheint im Blut und der Lymphe, zuweilen in den Augenwässern und den serösen Flüssigkeiten des lebenden Thieres. — Die geronnene Modifikation in den erwähnten Flüssigkeiten nach ihrer Entfernung aus dem lebenden Thier oder nach dem Absterben des letzteren. Ausserdem häufig in pathologischen

*) Lieberkühn, Poggend. Annal. 86 Bd. 110.
**) Scherer, pharmaz. Centralblatt 1852. p. 216.

Produkten. Die geronnene Modifikation soll in mehreren Abarten auftreten; insbesondere unterscheidet Scherer das frische venöse vom arteriellen oder gekochten Fibrin. Siehe dagegen Zimmermann und Lehmann *). — 2. Muskelfibrin (Liebig, Baumhauer) in 100 Theilen $C_{35,2}H_{7,1}N_{15,8},O_{20,3}S_{1,2}$ (Strecker). Phosphor ist nicht darin gefunden worden (Baumhauer, Strecker). Das flüssige Muskelfibrin ist im lebenden, das geronnene im todtenstarren Muskel enthalten (Brücke).

Der Blutfaserstoff gerinnt entweder zu festen, zusammenhängenden Massen, oder in Körperchen. Ueber die Formen, die er bei diesem Prozess annimmt, sind die Meinungen getheilt. 1) Das zusammenhängend gerinnende Fibrin **). Um die Entwicklung der bei dem Festwerden auftretenden Formen zu beobachten, lässt man am besten nach E. H. Weber einen mit einem Glasplättchen bedeckten Blutstropfen an einem vor Erschütterung und Verdunstung gesicherten Ort gerinnen. Nach E. H. Weber sollen nun hier sogleich feine Fasern auftreten, welche ein Netz bilden; nach Virchow dagegen gerinnt das Fibrin zuerst zu einer homogenen Membran, in der erst durch Faltung das faserige Ansehen entsteht. Nach Henle endlich heben sich aus dem ursprünglich homogenen Gerinnsel Fasern hervor, welche einander in allen Richtungen durchkreuzen; sie mehren sich allmälig so sehr, dass sie die homogene Grundsubstanz an Menge überbieten und charakterisiren sich dann auf verschiedene Weise; die einen sind sehr fein, dehnbar, ästig und netzförmig verflochten; die andern breit, platt, am Ende in kurze steife Stücke zersplittert, zuweilen fein wellenförmig, zuweilen der Länge nach gestreift. Die physikalischen Bedingungen der zusammenhängenden Gerinnung sind auch die des raschen Gerinnens, nämlich Luftzutritt zu dem flüssigen Faserstoff, Armuth der Faserstofflösung an neutralen und alkalischen Natron und Kalisalzen, Gegenwart eines schon geronnenen Faserstoffstückes. — 2) Körnig gerinnendes. Man unterscheidet hier a) die Faserstoffschollen von H. Nasse. Nach Döderlein ***) enthalten diese Gebilde keinen Faserstoff, da sie nicht faulen. Ueber die Bedingung ihres Entstehens fehlen noch weitere Nachrichten, wenn man der freilich unwahrscheinlichen Angabe von Bruch †) nicht huldigen will, da sie nichts anderes als Epitheliumsschuppen darstellen, durch welche der unvorsichtige Beobachter das beobachtete Blut verunreinigt. b) Aber auch unzweifelhafter Faserstoff gerinnt oft in feinen Körnchen. Die Bedingung dieser Erscheinung ist nicht allseitig bekannt; man weiss nur, dass Zucker, kohlensaures Natron, Salpeterlösung, welche die Geschwindigkeit der Gerinnung verlangsamen, auch die Bildung molekülärer Gerinnungsformen begünstigen.

C. Proteinbioxyd. In 100 Theilen = $C_{53,5}H_{7,2}N_{14,5}O$ u. $S_{21,7}$. Mit 4 bis 9 pCt. Asche. Man unterscheidet eine in Wasser lösliche und eine in Wasser unlösliche Modifikation. Das lösliche Proteinbioxyd ist ein Bestandtheil der Blutextractivstoffe.

*) Heintz, Zoochemie. Berlin 1853. 628.
**) Henle, rationelle Pathologie. II. Bd. p. 150.
***) Henle, l. c.
†) Bruch in Henle's Zeitschrift 9. Bd.

D. Proteintritoxyd. In 100 Theilen = $C_{51,7}H_{6,6}N_{15,0}O$ und $S_{26,6}$ nach Mulder im Blut, Eiter und pathologischen Exudatflüssigkeiten. Kann auch durch Kochen aus dem Faserstoff dargestellt werden. Die Angabe von Mulder, dass durch Einleiten von Chlor in Eiweiss und nachfolgende Neutralisation mit Ammoniak ebenfalls Proteintritoxyd erzeugt werden könne, scheint durch Millon widerlegt zu sein.

E. Globulin und Crystallin. In 100 Theilen = $C_{54,5}H_{6,9}N_{16,5}O_{20,9}S_{1,2}$. In dem Inhalt der Blutkörperchen und der Linsenfasern. Man kennt wiederum eine lösliche und eine unlösliche Modifikation. Nach einer wichtigen Beobachtung von Funke, Kunde und Lehmann*) kann der Inhalt der Blutkörperchen krystallinisch erhalten werden.

F. Casein. In 100 Theilen = $C_{53,8}H_{7,1}N_{15,6}O_{22,6}S_{1,0}$. Enthält 4—6 pCt. $3\,CaO, PhO_5$. In der Milch, in der Flüssigkeit der glatten Muskelfasern von den Venen- und Arterienhäuten (M. Schultze), im Blut (Moleschott).

G. Pyin. In 100 Theilen = $C_{54,8}H_{7,2}N_{15,3}O_{22,5}$. Nach Scherer im Eiter.

Die Zusammensetzung der meisten Eiweissstoffe lässt sich, wie Liebig wiederholt geltend gemacht hat, vorerst nur durch die Prozentzahlen, nicht aber durch das Atomgewicht ausdrücken und zwar darum nicht, weil 1) kein Anhaltspunkt für die Berechnung des Atomgewichts aus den Prozentzahlen vorliegt; wählt man bei der Berechnung die einfachste Voraussetzung, die nämlich, dass sich der Schwefel mit sämmtlichen Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen in Verbindung findet, so führt eine Abweichung in den Hunderttheilen der Prozente des Schwefels schon zu Aenderungen von mehreren ganzen Zahlen in den Wasserstoffatomen; es kann also unmöglich auf dieses Rechnungsresultat Werth gelegt werden, da die Fehlergrenzen bei der Schwefelbestimmung schon in den Zehntheilen eines Prozents liegen. — 2) Bilden die meisten eiweissartigen Stoffe keine anatomistische Verbindung, welche rein darzustellen wäre.

Sehr wenig geeignet zur Berechnung des Aequivalentgewichtes erscheint die von Mulder beschriebene Verbindung des Proteins mit ClO_3; es entstehen hier bei längerer Einleitung komplizirte Zersetzungen, und bei kürzer dauernder fehlt, wie es scheint, ein Mittel, um den Zeitpunkt zu bestimmen, wann 1 oder 2 Atom ClO_3 mit Protein verbunden sind.

Die Gründe, die uns bestimmen, so vielerlei eiweissartige Körper anzunehmen, dürften nicht überall stichhaltig sein. Denn 1) bietet eine Abweichung in der prozentischen Zusammensetzung so lange

*) Henle's und Pfeufer's Zeitschrift N. I. II. Bd. p. 199, 271, 288. Leipziger Berichte 1852. p. 78 und 1853. 101.

keine besondere Bürgschaft für eine Verschiedenheit, als uns jedes Mittel fehlt, die Reinheit der analysirten Stoffe zu erweisen. Zudem fallen die Abweichungen zweier Analysen sogenannter verschiedener Stoffe nicht grösser aus, als die zweier Analysen desselben Stoffes*). 2) Sind die Abweichungen in den Eigenschaften häufig unbestimmt genug, und oft ist nicht zu ermitteln, ob eine Reactionserscheinung von einer spezifischen Atomgruppe oder der gleichzeitigen Gegenwart oder Abwesenheit anderer nur beigemengter Stoffe herrührt. Derselbe Einwurf dürfte auf die von Schmidt**) zur Nachweisung der Identität benutzte Bestimmung des spezifischen Gewichtes anwendbar sein. Demgemäss kann nun auch die Atomlagerung nicht angegeben werden, und noch weniger, in welchen Beziehungen die Atomlagerung des einen Eiweisskörpers zu der eines anderen steht.

Zersetzungserscheinungen von Casein, Fibrin und Albumin. Durch Behandlung mit einer Kalisolution bei einer Temparatur von 50 — 60° C. entwickelt sich Ammoniak und in Lösung bleibt Schwefelkalium und ein Körper, der noch die wesentlichen Eigenschaften der eiweissartigen Stoffe zeigt (Protein von Mulder in 100 Theilen = ($C_{55,0}\,H_{7,0}\,N_{14,7}\,O_{23,0}\,S_{1,3}$). Hierauf stützt Mulder die sehr bedenkliche Annahme, dass Eiweiss eine Verbindung von Protein mit Sulfamid sei. Die Beobachtung ist aber insofern wichtig, als sie zeigt, dass die eiweissartigen Substanzen den Schwefel in zwei Formen gebunden enthalten, von denen die eine Portion durch gewöhnliche Reagentien abscheidbar ist, während die zweite in verdeckter Form mit den übrigen Bestandtheilen verbunden bleibt; und insofern, als aus ihr hervorgeht, dass ohne wesentliche Veränderung der Eigenschaften ein S und N haltiger Körper aus den eiweissartigen Substanzen entfernt werden kann.

Beim Eintragen der eiweissartigen Stoffe in Kali, das in seinem Krystallwasser schmilzt, bildet sich unter Entwicklung von Ammoniak und Wasserstoff Leucin, Tyrosin***) (Liebig) und ausserdem eine geringe Menge eines schmierigen Syrups, der verbrannt nach verkohlenden eiweissartigen Stoffen riecht.

Durch Kochen in concentrirter Salzsäure oder verdünnter Schwefelsäure zerfallen die eiweissartigen Körper in Leucin, Tyrosin, einen dritten krystallinischen (der wegen geringer Menge noch nicht analysirt ist), und einen braunen flockigen Körper (Humus von Mulder) und einen süssen (aber nicht gährungsfähigen) schwefelhaltigen, wahrscheinlich stickstofffreien Syrup.

Durch Einleiten von Cl in Fibrin oder Eiweisslösung erhält man zuerst eine Verbindung der unveränderten Stoffe mit chloriger Säure; lässt man anhaltend das Chlor bei gewöhnlicher Temperatur mehrere Tage lang einwirken, so erhält man Salmiak und in Verbindung mit chloriger Säure einen Körper, aus dem KO keinen Schwefel mehr ausscheidet (Protein?). Uebergiesst man diese letzte Verbindung mit Ammoniak, so erhält man unter N Entwicklung und Salmiakbildung einen Stoff, den Mulder Trioxyprotein nennt; nach Millon zeigt er die für eiweissartige Stoffe charakteristische

*) Dieses fällt besonders auf, wenn man die Zahlen der genauen Analytiker Cahours, Mulder, Scherer, Liebig, Dumas u. s. w. vergleicht.

**) Liebig's Annalen 61. Bd. 156.

***) De la Rue gibt das Tyrosin nach der Formel $C_{18}\,H_{11}\,N\,O_6$ zusammengesetzt an.

rothe Reaktion auf eine Lösung von Hg in Salpetersäure nicht mehr. — Eiweiss und Faserstoff mit Salpetersäure digerirt verwandelt sich unter Bildung von Stickgas, Stickoxydgas, salpetersaurem Ammoniak, Zuckersäure und Oxalsäure in die Mulder'sche Xanthoproteinsäure *).

Durch Einwirkung von Braunstein oder chromsaurem Kali und Schwefelsäure auf Casein und Eiweiss bilden sich die Aldehyde der Essigsäure, der Propionsäure, der Buttersäure, Bittermandelöl, ferner Ameisen-, Essig-, Propion-, Butter-, Baldrian-, Capron- und Benzoesäure, Ammoniak und in Gegenwart überschüssiger Schwefelsäure Formo- (Blausäure) und Valeronitril und ein schweres Oel. — Von diesen Zersetzungsprodukten lieferten Casein und Albumin weniger Aldehyd der Essigsäure, und weniger Essigsäure und Ameisensäure als Fibrin; Albumin weniger Aldehyd der Buttersäure, weniger Buttersäure und Valeriansäure als Casein und Fibrin; und Fibrin weniger Bittermandelöl als Casein und Albumin. Diese Zersetzungsprodukte werden wohl sämmtlich secundäre sein, weil Leucin mit Schwefelsäure destillirt in Valeronitril und CO_2, mit Kali in Ammoniak, H, Valerian- und Buttersäure zerfällt. Uebermangansaures Kali verwandelt Eiweiss, Kleber und vorzugsweise leicht Faserstoff in Harnstoff, Ammoniak und eine stickstoffhaltige Säure (Bechamp **)).

Die Eiweissstoffe erleiden noch eine besondere Umsetzung durch Fäulniss. Dieser Akt der sogenannten Selbstersetzung (der keineswegs den thierischen Stoffen allein eigenthümlich ist) tritt weder bei allen Modifikationen der eiweissartigen Körper in gleicher Weise, noch unter allen Bedingungen auf. — Am leichtesten erscheint er in den eiweissartigen Körpern, welche unmittelbar aus dem lebenden Thiere genommen sind; zu seinem Bestehen ist die Gegenwart von Wasser und eine Temperatur von 0^0 bis $+ 40^0$ C nothwendig. Ob er ohne Gegenwart von Luft eingeleitet werden kann, ist Gegenstand des Streites ***), einmal eingeleitet, schreitet er auch nach Luftabschluss weiter fort. — Anwesenheit von concentrirter Salzlösung, verdünnte Lösungen von Metallsalzen, Schwefel-, Salz-, Salpetersäure, vielen organischen Säuren, z. B. Phenylsäure (Kreosot), Blausäure (?), concentrirter Zucker- und Alkohollösungen etc., verhindern den Eintritt und hemmen das Weiterschreiten der Zersetzung. — Für sich bei Luftzutritt der Zersetzung überlassen zerfallen Faserstoff, Eiweiss und reiner Käse 1) in eine intensiv riechende krystallinische Substanz, 2) in ein saures Oel, 3) in Leucin, 4) in einem syrupartigen Stoff, der durch ClH und SO_3 in Tyrosin und den braunen Stoff zerfällt, welcher auch bei direkter Behandlung der Eiweissstoffe mit Säuren entsteht, 5) Kohlensäure, 6) Schwefelwasserstoff. Diese Produkte werden bei weiterschreitender Zersetzung noch zerlegt; so zerfällt unter andern Leucin in Ammoniak und Baldriansäure und diese wieder in Buttersäure u. s. w. — Die Umsetzungsprodukte der Fäulniss sollen nach Blondeau vollkommen andere werden, wenn die Fäulniss — wie im Rocheforter Käse — bei Gegenwart von Penicillum glaucum vor sich geht; es soll sich hier der Käse in Fett umwandeln †) (?).

Die Versuche von Liebig und Bopp über die Zersetzungen unter dem Einfluss von Säuren, schmelzendem Kali und Fäulniss, und diejenigen von Guckelberger über den Einfluss oxydirender Substanzen und endlich die Beobachtungen von Staedeler und Frerichs über das Vorkommen von Leucin und Tyrosin in dem lebenden Thier machen es wahrscheinlich, dass in den Eiweissstoffen Atomgruppen enthalten seien, die

*) Eigenthümliche Theorien über diese Säure siehe bei van de Pant in: scheikondige Onderz. 5. Deel.

**) Annales de chim. et phys. 3 Ser. 58. Bd.

***) Helmholtz in Müller's Archiv 1843. — Struve u. Döpping. Petersburger akademische Büllletins VI. 145. — Schröder und Dusch, Liebig's Annalen 99. p. 232.

†) Blondeau, Journ. de pharmac. XII.

in die Classe der Säuren $C_{2n}H_{(2n-1)}O_3$; HO und in die Leucin- und Tyrosingruppen gehören. Die durch diese Arbeiten um ein gutes Theil geförderte Aufgabe, eine scharfe Vorstellung von den anatomistischen Verhältnissen der Eiweissstoffe zu erlangen, wird aber, wie begreiflich, erst gelöst sein, wenn man das Aequivalentgewicht der Eiweisse, alle primären Zersetzungsprodukte, das gegenseitige Mengenverhältniss und die Lagerung der Atome dieser letzteren selbst kennt.

Die Eiweissstoffe, welche man vorzugsweise die Träger des Lebens nennt, rechtfertigen diesen Namen. Denn

1. In ihrer Zusammensetzung aus einer sehr grossen Zahl von fünf oder sechs Atomarten (C, H, N, O, S, Ph) liegen die Mittel zum Entstehen sehr vielfacher Zersetzungsprozesse und Zersetzungsprodukte. — Die Prozesse, durch welche die Eiweissstoffe im thierischen Leben zersetzt werden, sind noch sehr wenig bekannt; wir vermuthen, dass neben andern Wegen der Umwandlung auch derjenige der sogenannten Selbstzersetzung und derjenige, welcher durch Alkalien eingeleitet wird, in Anwendung gebracht ist. Diese Vermuthung gründet sich nicht allein darauf, dass die Bedingungen zu diesen beiden Umsetzungsarten im thierischen Körper gegeben sind, sondern noch mehr darauf, dass einzelne auf dem angezeigten Wege künstlich erzeugbare Umsetzungsprodukte, wie z. B. Eiweissstoffe, denen der leicht abscheidbare Schwefel fehlt, Leucin, Tyrosin u. A. im Thier gefunden werden. — Die Bestandtheile des thierischen Körpers, welche wir theils mit Sicherheit, theils mit Wahrscheinlichkeit als Zersetzungsprodukte der mit der Nahrung genossenen Eiweissstoffe ansehen, sind: Isomere Modificationen der ursprünglich aufgenommenen Eiweissstoffe, ferner aber die Hornsubstanz, das elastische Gewebe, Mucin, Pepsin, Chondrigen, Collagen, Blutroth, Cystin, Taurin und Glycin, Leucin, Tyrosin, Kreatin, Sarcin, Kreatinin, Harnstoff, Hypoxanthin, harnige und Harnsäure, Hippursäure, Jnosit (?), NH_3, NCO_2, HO. Offenbar enthält aber diese Reihe nur einen Theil der in Wirklichkeit im lebenden Säugethier vorkommenden. —

Diese Umsetzungen sind nun nicht allein dadurch von Wichtigkeit, dass die mannigfaltigen neugebildeten Stoffe durch ihre physikalischen und chemischen Eigenthümlichkeiten in den Lebensprozess eingreifen, und dadurch, das durch den Umsetzungsprozess latente Kräfte in freie übergeführt werden, sondern vorzüglich auch durch den Umstand, dass die Zersetzungen der Eiweissstoffe sich auf andere zersetzungsfähige Körper übertragen, eine Uebertragung, die unter den Namen Katalyse, Gährung, Erregung berühmt geworden ist. Diese Prozesse verlangen zu ihrem Bestehen eine bestimmte Temperatur, die Gegenwart des Wassers und unter Umständen die des Sauerstoffs.

Die Umsetzungen, welche die Eiweissstoffe durch Gährung im menschlichen Körper einleiten, sind so weit bekannt: die Umwandlung einer Modifikation eines Eiweissstoffes in eine andere; die der Eiweissstoffe in Leucin und Tyrosin; die der Stärke in Dextrin und Traubenzucker; die des Traubenzuckers in Milchsäure; die der milchsauren Salze in Kohlensäure, Wasserstoffgas und Buttersäure (Dünn- und Dickdarm); die der neutralen Fette in Glycerin und Fettsäuren; die der Gallensäure in Taurin, Glycocoll, Chol- und Choloidinsäure; die des Harnstoffs in kohlensaures Ammoniak, und endlich die vieler organischer Säuren*) in Kohlensäure und Wasser. Zur Einleitung eines jeden dieser mannigfaltigen Prozesse ist es Bedingung, dass ein ganz besonderer eiweissartiger Stoff, der noch dazu in ganz besonderer Zersetzung begriffen ist, vorhanden sei, wie C. Schmidt**) gezeigt hat. Denn das Ferment, welches Zucker zersetzte, konnte keine Harnstoffgährung veranlassen, das, welches Salicin zerspaltete, zerlegte kein Amygdalin (Frerichs und Staedeler***). Frisches Hodengewebe wandelt Glycerin immer in Zucker um, Casein, Fibrin u. s. w. nur zuweilen (Berthelot†)). Das Ferment wird, wie es den Stoff, mit dem es in Berührung gebracht ist, umändert, so auch durch diesen in seinem Umsetzungsprozess modifizirt, wie daraus hervorgeht, dass stark in Fäulniss übergegangene Massen, in Zuckerlösung gebracht, ihren fauligen Geruch verlieren, wenn sie Alkoholgährung einleiten. Ausserdem gehören zur Unterhaltung der Gährung noch Alkalien, vorausgesetzt, dass durch eine in dem Prozesse gebildete Säure die Gährung gestört wird. Da die obige Aufzählung zeigt, dass einzelne Gährungen nur in Zerlegungen bestehen, andere aber mit Sauerstoffaufnahme verbunden sind, so ist einleuchtend, dass die letztern nicht ohne Gegenwart von Sauerstoff geschehen können, während die ersteren keines solchen Stoffes bedürfen.

Die auffallende Erscheinung, dass durch die Zerfällung einer Atomgruppe eine andere verändert werden kann, ohne dass die Bestandtheile beider Atomgruppen Verbindungen eingehen, und die noch merkwürdigere, dass durch eine beschränkte Masse des Fermentes eine so grosse Masse des gährenden Körpers zersetzt werden kann, dürfte bei der Verschiedenheit der Prozesse schwerlich auf einen Erklärungsgrund zurückgeführt werden können.

*) Buchner, über einige neue Gährungs- u. Verwesungserscheinungen. Liebig's Annalen 78. Bd.
**) Charakteristik der epid. Cholera. 58 u. f.
***) Züricher Mittheilungen. IV. Bd.
†) Compt. rend. 1857. Mai.

Ausser den im Text erwähnten Gährungen werden mit einiger Wahrscheinlichkeit als gegenwärtig noch vorausgesetzt: die Umwandlung des Glycerins in Propionsäure, der Oelsäure in die niederen Glieder der $C_{2n}H_{(2n-1)}O_3$; HOgruppe; des Traubenzuckers in Alkohol (wegen der Gegenwart der Gährungspilze im Darmkanal, Mitscherlich); des Taurins in Schwefelsäure, Ammoniak und Essigsäure.

Unter den Hypothesen, welche zur Erläuterung der Gährungserscheinungen ersonnen sind, schliessen sich die von Bunsen und Schönbein gegebenen, den Thatsachen am besten an, und widersprechen nicht den mechanischen Prinzipien. Die erstere von beiden erläutert vorzugsweise die einfachen Umsetzungen, die andere aber die mit der Umsetzung verbundene Oxydation. Bunsen schliesst folgendermaassen:

Die in einer Verbindung befindlichen Atome haben erfahrungsgemäss sehr selten oder vielleicht niemals ihre Verwandtschaften so gesättigt, dass sie auf einen andern mit ihr in Berührung gebrachten chemisch verschiedenen Atomcomplex gar keine Anziehung mehr übten. Diese Gegenwirkung kann zu einer wirklichen Vereinigung einzelner oder aller constituirenden Theile beider Verbindungen oder nur zu einer Spannung der Atome innerhalb derselben führen. Diese Spannung kann aber in einer oder beiden Atomgruppen eine Störung ihres Gleichgewichts, oder auch ein Zerfallen derselben bewerkstelligen. Zerfällt nun eine der beiden vorhandenen Verbindungen vorzugsweise leicht, und sind ihre Spaltungsprodukte von der Art, dass sie nicht selbst wieder eine besondere Spannung in den vorhandenen unzersetzten Atomgruppen hervorrufen, so wird die erstere (die fermentirende) Atomgruppe wieder frei, und es kann demnach derselbe Stoff mit einer neuen Menge der anderen Verbindungen den Prozess von Neuem beginnen u. s. f. — Diese Hypothese erklärt zugleich, warum eine gewisse Zeit zur Bewerkstellgung der Zersetzung grösserer Massen gehört, und warum für besondere Gährungsprozesse besondere Fermente nothwendig sind. — Nach Schönbein wirkt zu den verbrennenden Gährungen (Verwesungen) vorzugsweise der erregte Sauerstoff mit, der sich, wie schon früher erwähnt, durch seine energischen Verwandtschaften vor dem gewöhnlichen auszeichnet. Der gewöhnliche Sauerstoff wandelt sich in den erregten um, wenn er vom Sonnenlicht bestrahlt wird; ferner wenn er sich in der Nähe lebhafter Oxydationsprozesse (Verbrennung des Phosphors etc.) findet und endlich, was für uns besonders wichtig, wenn er in einer grösseren Reihe organischer Körper diffundirt ist, wie z. B. Terpentinöl, Oelsäure, Blutroth, Pilzsaft u. s. w. Dieser Sauerstoff kann von da auf andere oxydable Körper übertragen werden und dort Verbrennung einleiten, während zugleich der erregende Stoff von Neuem gewöhnliches Sauerstoffgas absorbirt und in den erregten Zustand versetzt. Zu den chemischen Körpern, welche nachweisslich das Ozon aus den erregenden Stoffen aufnehmen, gehört das Eiweiss*). Auf diese Weise können auch hier durch kleine Mengen von Fermenten ungeheure Quantitäten anderer Stoffe umgewandelt werden.

Die berühmte Liebig'sche Hypothese steht, wie ich sie auffasse, so sehr in Widerspruch mit den Elementen der Mechanik, dass ich ein Missverständniss derselben von meiner Seite fürchte; ich muss desshalb den Leser auf den Artikel Gährung des chemischen Handwörterbuchs verweisen.

Eine besonders complizirte aber sehr wichtige, die Gährung betreffende Thatsache, ist von C. Schmidt**) entdeckt worden, welcher beobachtete, dass in einem gäh-

*) Archiv für physiolog. Heilkunde, 1856. 13.
**) Liebig's Annalen Bd. 61. p. 168.

renden Gemenge von Harnstoff und Zuckerlösung, der erstere so lange vor Zersetzung geschützt blieb, als noch nicht aller Zucker umgewandelt war.

Die Temperatur, welche für die Erhaltung des organischen Lebens die geeignete ist, ist zugleich die Temperatur, welche den katalytischen Umsetzungsprozess unterhält; die Stoffe, welche den Lebensprozessen ein Ziel setzen, die Gifte, sind es auch, welche die Gährungen unterdrücken. Beide Thatsachen machen es wahrscheinlich, dass die Katalyse im Organismus noch viel ausgebreiteter thätig ist, als wir es wissen; es dürfte leicht dahin kommen, dass die physiologische Chemie ein Theil der katalytischen würde.

2) Von den andern für den Organismus wichtigen chemischen Eigenschaften der Eiweissstoffe ist hervorzuheben a) dass einige Modifikationen derselben eine ausserordentliche chemische Indifferenz gegen alle andern Atomgruppen des lebenden Thiers besitzen, wodurch es möglich wird, dass sie als Behälter und Filtra für Flüssigkeiten dienen können, welche mit übrigens kräftigen Verwandtschaften begabt sind; b) dass andere Modifikationen dagegen Verbindungen eingehen können mit Salzen, Säuren, Basen. Diese Verbindungen sind mannigfach benutzt. Hierher gehört das Albuminnatron, eine Substanz, die im Blut, Speichel u. s. w. vorkommt; ihre physiologische Bedeutung ist unbekannt. Ferner gehören hierher wahrscheinlich die aus der Magenverdauung hervorgehenden sauren Eiweissstoffe (von C. Schmidt*)); weiterhin die Verbindungen des Albumins und vorzüglich des Caseins mit phosphorsaurer Kalkerde, durch welche dieser wichtige Inkrustationsstoff in alkalischen Flüssigkeiten löslich gemacht ist.

3) Die physikalischen Eigenschaften, welche den Gliedern der Eiweissgruppe den ersten Rang im Organismus vor allen Thierstoffen sichern, sind:

a) Ihre Fähigkeiten, den festen mit dem flüssigen oder umgekehrt den flüssigen mit dem festen Aggregatzustand sehr leicht wechseln zu können. Durch scheinbar wenig bedeutende Einflüsse wandelt sich eine lösliche Modifikation in eine vollkommen unlösliche um; so z. B. gerinnt der Faserstoff an der Luft, das gelöste Casein bei Berührung mit Laabmagen, das lösliche Eiweiss wenn es von flüssigen Fetten begrenzt wird, das lösliche Proteinbioxyd

*) Liebig's Annalen 61. Band. Siehe hierüber die Magenverdauung.

wenn es einmal eingetrocknet war; und umgekehrt verwandelt sich der feste Faserstoff beim Stehen an der Luft in einen löslichen Eiweisskörper u. s. w. Diese merkwürdige Erscheinung macht mit geringen Mitteln die Verdauung fester Eiweisskörper, die Bildung der Gewebe aus dem flüssigen Blut u. s. w. möglich.

Ausserhalb des Thierkörpers tritt die Erscheinung nicht minder überraschend auf, wie die Gerinnung des Eiweisses durch Erhitzen und durch Schütteln mit Phenylsäure (Creosot) und Alkohol zeigt. Die Einwirkung des Creosots und des Alkohols ist besonders dadurch merkwürdig, dass beide Stoffe keine Verbindung mit dem niedergeschlagenen (und unlösslich gewordenen) Eiweiss eingehen.

b) Die Eiweissstoffe treten beim Uebergang in den festen Zustand, so weit unumstössliche chemische Erfahrungen reichen, meist amorph, nur sehr selten krystallinisch (?) auf. Aus diesem Grunde eignen sich dieselben zur Bildung von sehr verschieden geformten Gewebselementen; wären die Eiweissstoffe mit Krystallisationsbestreben oder (anders ausgedrückt) mit Richtkräften begabt, welche die gegenseitige Lagerung der kleinsten Theilchen bestimmten, so würden sich der Bildung jeder andern Form, als der durch die Krystallisationsrichtung vorgeschriebenen, Widerstände entgegensetzen. Die Schwierigkeit der ersten Bildung von Röhren, Kugelschalen etc. aus demselben Stoff würde sich aber nicht allein mehren, es würde zugleich noch die Gefahr vorliegen, dass die einmal gebildeten Formen leicht wieder in krystallinische Fragmente zerfielen.

Ob der Mangel an Krystallisationsfähigkeit den Eiweissstoffen unter allen Umständen zukommt, d. h. eine sogenannte Grundeigenschaft derselben ist, oder nur unter ähnlichen als die sind, in welchen wir sie im thierischen Körper antreffen, muss so lange zweifelhaft bleiben, als nicht ausgedehntere Versuche zur Herstellung des krystallinischen Zustandes vorliegen. So weit bekannt, zeigt kein Stoff unter allen Umständen beim Uebertritt in den festen Zustand krystallinisches Gefüge*). — Die Analogie erlaubt also den Schluss, dass auch die Eiweissstoffe unter andern Bedingungen krystallisiren werden. Für diese Behauptung sprechen aber auch geradezu die von Reichert**) und Lehmann***) beobachteten Krystalle, die, mögen sie bestehen woraus sie wollen, jedenfalls aus Substanzen gebildet sind, welche in die Gruppe der Eiweisskörper gehören.

c) Die im festen Aggregatzustande befindlichen Eiweissstoffe haben zum Wasser und vielen wässerigen Lösungen (und zum Theil auch zu Fetten) eine grosse Adhäsionsverwandtschaft. Diese Verwandtschaft ist so beträchtlich, dass die vollkommen trockenen Stoffe das Wassergas der Atmosphäre mit grosser Begierde an sich

*) Wenn man den Begriff Krystallisation nicht so weit wie Frankenhain ausdehnt; dann ist aber auch Eiweiss krystallinisch. Krystallisation u. Amorphie. Breslau 1852.

**) Müller's Archiv 1849.

***) Lehmann, Pharmazeut. Centralblatt 1852. N. 226.

ziehen und in sich condensiren. In wässerige Flüssigkeiten gelegt, nehmen sie längere Zeit (oft mehrere Tage lang) hindurch, unter allmäliger Volumzunahme Wasser bis zu einem endlichen Maximum auf, die ersten Mengen mit grösserer und die darauffolgenden mit einer geringeren Geschwindigkeit. Diese Erscheinung bezeichnet man mit dem Namen der Quellung oder Imbibition. Durch einige mehr beiläufig*) als absichtlich unternommene Untersuchungen weiss man, dass das Maximum der aufgenommenen Flüssigkeit theils abhängig ist von Besonderheit der Eiweissstoffe, als da sind die Temperatur, der sie beim Trocknen ausgesetzt waren, die Zeitdauer, während welcher sie sich im trocknen Zustand befanden u. s. w., theils von der Natur der Flüssigkeit und der in ihr aufgelösten Stoffe, und der Temperatur derselben u. s. w. (siehe Diffusion der tropfbaren Flüssigkeiten).

Durch diese Flüssigkeitsaufnahme erhalten die festen Eiweissstoffe einige für den thierischen Haushalt sehr wesentliche Veränderungen ihrer Eigenschaften. Zuerst gelingt es hierdurch, mit einer geringen Menge von fester Substanz ein sehr voluminöses Gewebe darzustellen, wie ohne Weiteres erhellt. Zweitens tritt durch die Wasseraufnahme eine Veränderung in der Cohäsion ein; nach Wertheim**) ist die Cohäsion um so geringer, je mehr Wasser aufgenommen wurde. Drittens verändert sich der Elastizitätscoeffizient und zugleich die ganze Beschaffenheit der Elastizität. Im vollkommen trockenen Zustand sind die Eiweissstoffe mit einem sehr grossen Elastizitätscoeffizienten begabt, d. h. sie dehnen sich, wenn grosse Gewichte an ihnen hängen, nur um einen kleinen Bruchtheil ihrer Länge aus; zugleich besteht für sie das auch bei unorganischen Stoffen giltige Gesetz, dass innerhalb gewisser Grenzen die Ausdehnung direkt proportional den angehängten Gewichten wächst (Wertheim). Im feuchten Zustand dagegen ist ihr Elastizitätscoeffizient ein niedriger und zugleich ein für verschiedene Belastungen variabler. In dieser letzten Beziehung steht fest, dass gleich grosse Gewichte einen um so geringern Zuwachs der Länge erzeugen, je beträchtlicher schon die vorher angehängten Gewichte gewesen waren, oder mit andern Worten, es setzte der feuchte eiweissartige Stoff den ersten Ausdehnungen geringern Widerstand entgegen als

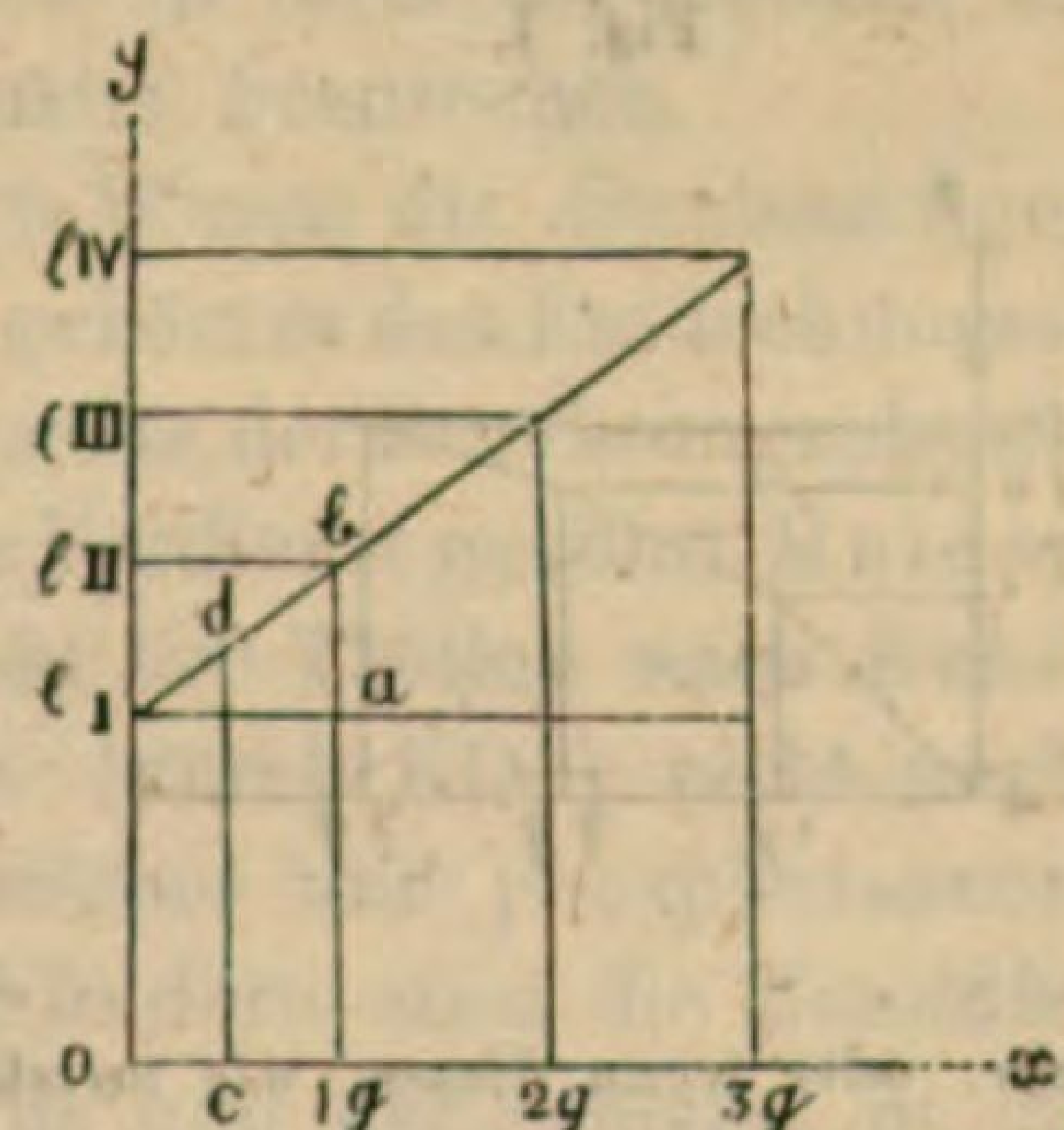
*) Chevreul, Annales de chimie et de physique. XIX. (1821). Liebig, Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung. 1848. p. 8 u. f.

**) Annales de chimie XXI. (1847). p. 1358.

den späteren. Wertheim giebt an, dass das Gesetz, nach welchem der Elastizitätscoeffizient veränderlich sei, durch eine Hyperbel dargestellt werden könne. Wie der Augenschein lehrt, ändert sich auch der absolute Werth des Elastizitätscoeffizienten, wenn das in den Eiweissstoff eingedrungene Wasser Salze aufgelöst enthält; so ist z. B. Faserstoff, der sich mit Kochsalzauflösung imprägnirt hat, schwieriger ausdehnbar, als der mit reinem Wasser durchdrungene und leichter ausdehnbar, als der trockene.

Zum Verständniss des Ausdrucks Elastizitätscoeffizient, Gesetz seines Wechsels u. s. w., diene folgendes: Unter den verschiedenen Arten sogenannter Elastizitäten hat man in der Physiologie bisher nur das Augenmerk gerichtet auf die Zugelastizistät, welche gemessen wird durch die lineare Ausdehnung, die in einer festen Masse ein momentan wirkender, nach Gewichten zu schätzender Zug erzeugt. Der schematische Versuch zur Bestimmung dieser Art von Elastizität gestaltet sich, wie Jedermann geläufig, der Art, dass man, nachdem man eine Masse von bekanntem Querschnitt und bekannter Länge an ihrem einen (dem obern) Ende aufgehängt und das andere frei schwebende Ende mit Gewichten beschwert hat, beobachtet, welche successive Verlängerung mit successiv steigender Gewichtsvermehrung eintritt. Um die bei Versuchen mit Stoffen von verschiedenartigen Dimensionen gefundenen Verhältnisse zwischen Gewichts- und Längenzuwachs untereinander vergleichbar zu machen, hat man zunächst die zu vergleichenden Massen auf ein und denselben Querschnitt (auf die Querschnittseinheit) zu reduziren, was durch die gewöhnliche Proportionsrechnung geschieht, bei deren Ansatz man die Verlängerungen gleich langer Stücke durch gleich grosse Gewichte den Querschnitten umgekehrt proportional setzt. Dann aber müssen auch die Längen auf die Einheit der Länge reduzirt, und die Zuwächse derselben als Bruchtheile dieser Längeneinheit dargestellt werden. Das Verfahren hierbei ist folgendes: Gesetzt es seien in beistehender Figur 2. auf die Ordinate y die Längen und auf die Abszisse x die Gewichte aufgetragen und es bedeute ol^{I} die ursprüngliche Länge als kein Gewicht an der Masse zog, ol^{II} diejenige als 1 Gewicht, ol^{III} als das Doppelte des ersten Gewichts, ol^{IV} als das Dreifache des ursprünglichen Gewichts angehängt war, so ist offenbar $ol^{II} - ol^{I}$ der Längenzuwachs, den ol durch Anhängen von 1 Gewicht, $ol^{III} - ol^{II}$ der Zuwachs, den ol^{II} durch Vermehrung des ersten Gewichts auf seinen doppelten Werth erfahren u. s. w. In den Werth dieses beobachteten Längenzuwachses dividirt man nun die mittlere Gesammtlänge vor und nach der Ausdehnnng, um den proportionalen Zuwachs zu erfahren;

Fig. 2.



so z. B. ist $\frac{l^{II} - l^{I}}{{}^{1}/_{2}\, l^{I} + l^{II}}$ $\left(\text{oder } \frac{ab}{cd}\right)$ der proportionale Zuwachs, als das Gewicht 1 g angehängt worden war. Mit diesen proportionalen Zuwächsen lässt sich nun abermals eine Curve bilden. Denn trägt man ihre den bestimmten Gewichten entsprechende

Werthe l^{I}, l^{II}, l^{III}, auf eine Ordinate y (in Fig. 3) und die zu ihnen gehörigen Gewichte $1g$, $2g$, $3g$ auf die Abszisse x, so stellt die Linie oc, welche die Schnittpunkte der Coordinaten o, a, b, c verbindet, offenbar den fortlaufenden Zuwachs der Verlängerung dar, welcher zum Vorschein kommt, wenn die Längeneinheit allmälig mit steigenden Gewichten von o bis zum Werthe $3g$ beschwert wird. — Diese Linie dient nun zur Charakteristik der elastischen Eigenthümlichkeiten des betrachteten Stoffes. Zuerst erkennt man aus ihr das Verhältniss der absoluten Werthe der Elastizität, wenn man entweder bei gleichbleibendem Gewicht (oder der Einheit des Gewichts) den verschiedenen Werth der Verlängerung (Ausdehnbarkeitsmaas) oder bei gleichbleibendem Zuwachs (die Einheit des Zuwachses) die hierzu nöthigen verschiedenen Gewichte vergleicht. — An unserer Figur ausgedrückt würde also das Ausdehnbarkeitsmaass $\frac{l}{g}$ und das Elastizitätsmaas $\frac{g}{l}$ bedeuten, wo jedesmal der Divisor eine willkührliche, aber in den verglichenen Fällen gleiche, Einheit bedeutet. — Zweitens giebt aber diese Linie auch unmittelbar darüber Aufschluss, ob an ein und derselben Substanz bei allmäliger Steigerung der Gewichte der Quotient $\frac{g}{l}$ oder $\frac{l}{g}$ constant bleibe oder wechsele; die Erfahrung lehrt nämlich, dass entweder unsere Linie eine gerade, wie in Fig. 3, oder eine gekrümmte, wie in Fig. 4 sei; im ersten Fall sind wie bekannt die Quotienten $\frac{l^{\text{I}}}{{}^{1}g}$; $\frac{l^{\text{II}}}{{}^{2}g}$ u. s. f. gleichwerthig, d. h. es wächst direkt proportional mit der Gewichtsvermehrung der Längenzuwachs, im andern Fall sind diese Quotienten dagegen veränderlich. — Wie sich noch von selbst versteht, lässt sich bei fortlaufender direkter Proportionalität die ganze auf Zugelastizität bezügliche Erscheinungsreihe durch Angabe eines einzigen des Quotienten, den sogenannten Elastizitätscoeffizienten, feststellen; im andern Fall muss dagegen entweder neben dem Werth eines Quotienten noch das Gesetz der fortlaufenden Veränderlichkeit dieses Elastizitätscoeffizienten gegeben sein, oder wenn dieses, wie meistentheils nicht möglich, angegeben werden, welchen Werth der Quotient mit der Veränderung des Gewichts annimmt, d. h. wie gross der durch die Gewichtseinheit erzeugte Längenzuwachs sei, wenn vorher schon entweder 0, oder 1, 2, 3 u. s. w. Gewichtseinheiten angehängt waren.

Fig. 3.

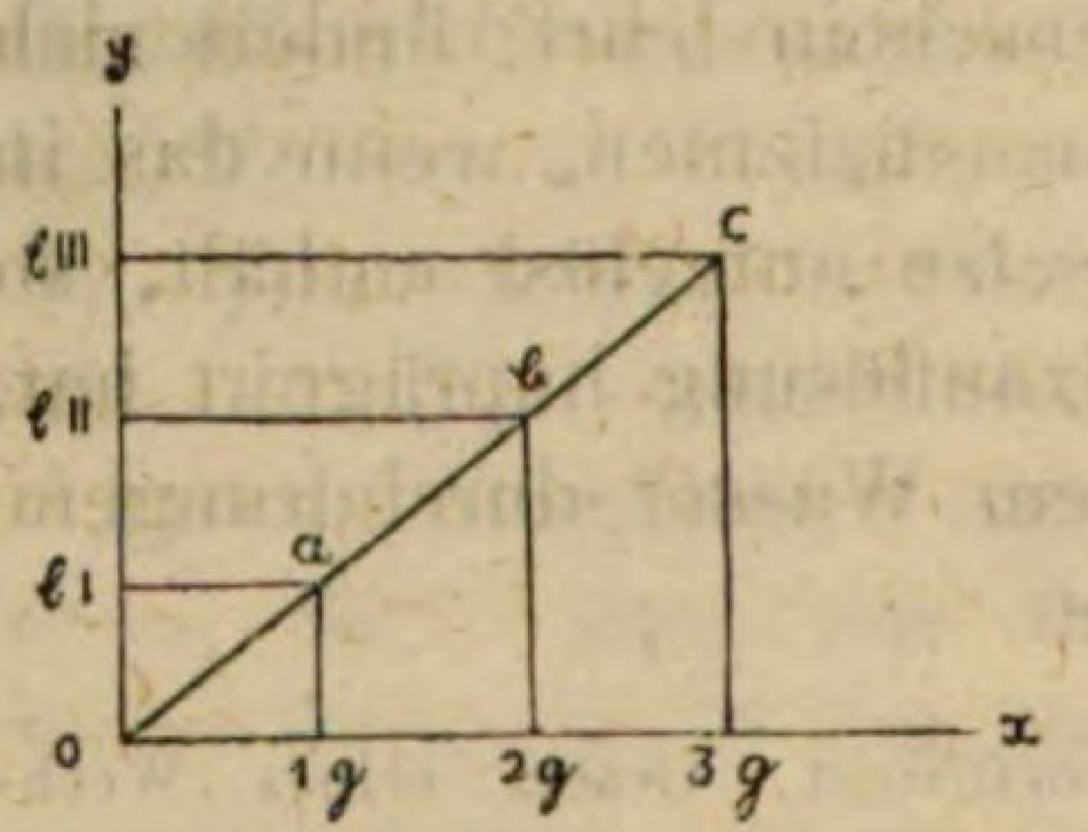
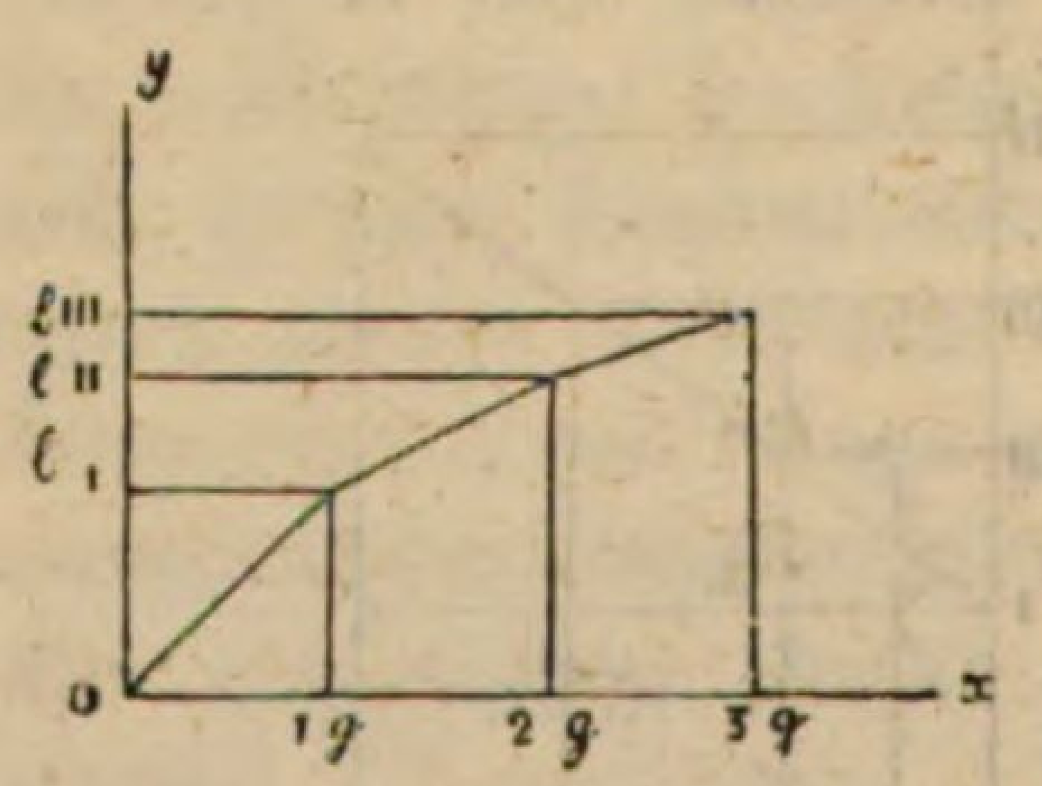


Fig. 4.



(Die Berechnung des Elastizitätscoeffizienten für unseren besondern Fall siehe bei Wertheim am angezogenen Orte p. 391).

Viertens. Die Durchtränkung der Eiweissstoffe mit Wasser macht es möglich, dass andere wässerige Lösungen durch eine und dieselbe feste Masse bald hindurchdringen können, bald an derselben für ihre Weiterverbreitung einen undurchdringlichen Widerstand

finden. Sie dringen hindurch, insofern sie sich in Folge chemischer Anziehungen in dem eingesogenen Wasser verbreiten, während sie nicht durchzudringen vermögen, wenn sie mittelst mechanischer Gewalt die eingesogene Flüssigkeit verdrängen wollen (Filtration). Wir werden bei der Diffusion hierauf noch zurückkommen. — Fünftens. Vollkommen trockene Eiweissstoffe sind unfähig, electrischen Strömen den Durchgang zu gestatten; durch ihre Durchtränkung mit Wasser erhalten sie die Leitungsfähigkeit, und zwar steigt dieselbe mit der Menge des eingesogenen Wassers, indem dieses letztere allein den Durchtritt der Electricität vermittelt*). — Endlich sechstens ist vermöge der Durchtränkung der Durchgang der Lichtstrahlen durch die Eiweissstoffe wesentlich modifizirt; auf diesen Punkt macht uns die Thatsache aufmerksam, dass ein Stoff beim Trocknen, ein anderer aber erst beim Durchfeuchten und umgekehrt durchsichtig wird, und zwar im letztern Fall um so durchsichtiger, je näher das Brechungsvermögen der Lösung dem des festen Eiweissstoffes steht. Dieses geschieht offenbar darum, weil sich in diesem Fall die durchtränkte Substanz einer optisch homogenen annähert.

d) Die Eiweissstoffe sind endlich auch schlechte Wärmeleiter; leider fehlt uns aber über ihr Verhalten gegen Wärme jede gründliche Untersuchung; ihre Funktion, die sie in ihrer Eigenschaft als Wärmeleiter übernehmen, werden wir später besprechen.

Der Nachweiss, dass alle thierischen Wesen die eiweissartigen Stoffe mit den Nahrungsmitteln aufnehmen, gehört zu den Entdeckungen, welche einen neuen Abschnitt in der Geschichte der Ernährungsphysiologie bezeichnen. Dieses ausserordentliche Verdienst gebührt Mulder.

52. Mucin, Schleimstoff enthält in 100 Theilen nach Scherer $C_{32,4}H_{7,0}N_{12,8}O_{27,8}$. Schwefel konnte (durch KO?) nicht nachgewiesen werden; er ist mit 4 pCt. alkalischer und phosphorsauren Kalk haltender Asche verbunden. Seine Fundorte sind die Mundflüssigkeit, Darmflüssigkeit, Sekret des Uterus und der Scheide, in der Synovia, der Galle, dem Pankreassaft (?), der Flüssigkeit der Unterkieferdrüse, dem Harn und nach Virchow in zahlreichen pathologischen Gebilden.

Dieser Körper zählt vorzugsweise zu den katalytisirenden; in Verbindung mit Speichel dient er als Ferment für Umwandlung des Amylons in Zucker; ferner für die Verwandlung des Harnstoffs

*) Ed. Weber, quæstiones physiologicæ de phænomenis galvano-magneticis etc. Leipzig 1836.

in kohlensaures Ammoniak, für die Gallengährung und die Verwandlung der neutralen Fette in Glycerin und Fettsäuren. — Ausserdem zeichnet er sich durch seine Schlüpfrigkeit und Klebrigkeit aus. Vermöge dieser Eigenschaft unterstützt er das Niedergehen des Speisebissens durch den Schlund und die Speiseröhre und das Uebereinandergleiten der Gelenk- und Sehnenflächen.

Er ist ein Produkt des thierischen Körpers. Frerichs*), Scherer**) und Tilanus***) vermuthen eine innige Beziehung zwischen ihm und den Epithelialstoffen.

53. Pepsin, nach Vogel in 100 Thl. $C_{56,7}\,H_{5,6}\,N_{21,1}\,O_{16,5}$. Es liegt keine Garantie vor, dass der analysirte Körper rein war. Dieser Stoff besitzt die Eigenthümlichkeit, auf katalytischem Wege die Auflösung geronnener Eiweissverbindungen in salz- und milchsaurem Wasser zu bewirken; er wird darum im Magen- und Darmsaft von Wichtigkeit.

54. Elastischer Stoff. In 100 Theilen $C_{55,6}\,H_{7,4}\,N_{17,7}\,O_{19,2}$; die von Mulder hieraus berechnete Formel ist $C_{52}H_{40}N_7O_{14}$; durch eine Chlorverbindung soll dieselbe bestätigt sein. Unter seinen Zersetzungen ist nur bemerkenswerth, dass er mit Salpetersäure, so weit bekannt, ähnliche Produkte (und namentlich Xanthoproteinsäure) gibt, als die Eiweissstoffe und mit verdünnter SO_3 Leucin (aber kein Tyrosin und Glycin) liefert (Zollikofer). Unser Stoff bildet die Grundlage der sehr verbreiteten elastischen Gewebe. Durch ausserordentliche Elastizität der aus ihm bestehenden Gewebe, seine Indifferenz gegen Lösungsmittel und seine eigenthümlichen Imbibitionserscheinungen (wovon später) ist der Stoff für den Organismus von Bedeutung.

55. Chondrigen und Chondrin. Aus der Cornea und allen Knorpeln, bevor sie verknöchert oder in Fasergewebe umgewandelt sind, kann durch Kochen eine Substanz (Chondrin) dargestellt werden, welche mit Aether und Alkohol gereinigt, dieselbe Zusammensetzung besitzt, wie die mit Aether und Alkohol gereinigten Gewebe (Chondrigen), aus denen sie dargestellt ist. — Diese Substanz gibt übereinstimmend in 100 Theile $C_{59,5}\,H_{7,1}\,N_{14,9}\,O_{28,6}\,S_{0,2}$. — Aus dieser Analyse und Verbindungen mit Chlor und schwefelsaurem Eisenoxyd berechnet Mulder die Formel $5\,(C_{32}H_{26}N_4O_{14})\,S$. Diese Formel muss mit Misstrauen betrachtet werden, da sich aus der Chondrinlösung, wie sie durch Kochen erhalten wird, nach Mulder viele durch das Kochen nicht aufgelöste flockige Theile nicht abfiltriren lassen; das Chondrin enthält bis zu 6,5 pCt. Kalk-Salze. Jedenfalls sind jedoch in diesem analysirten Stoff besondere Atomgruppen enthalten, wie aus seiner Zersetzung hervorgeht. Aus ihm wird erhalten: durch SO_3 Leucin (aber kein Glycin); durch Kalilösung Glycin; durch schmelzendes

*) Artikel Synovia in Wagner's Handwörterbuch. III. A.

**) Ueber den flüssigen Schleimstoff, Liebig's Annalen 57. Bd.

***) Specimen chemico-physiol. inaug. contin. quaedam de saliva et muco. 1849.

Kali Leucin, Oelsäure und eine neue Säure; durch Salpetersäure Xanthoproteinsäure (Hoppe). Diese Untersuchung verdient von der Hand eines erfahrenen Chemikers eine Wiederholung.

Das Chondrigen hat viele physikalische Eigenthümlichkeiten mit den aus Eiweissstoffen bestehenden Geweben gemein, wie bei der Cornea und dem Knorpel näher ausgeführt wird, wohin die weiteren Betrachtungen zu verschieben sind, da der reine Stoff der Untersuchung nicht zugänglich ist.

56. **Collagen, Colla.** Durch anhaltendes Kochen verwandeln sich bekanntlich die sogenannten Bindegewebe und die verknöcherten Knorpel (Collagen) in Colla um. Beide Stoffe sollen nur durch einige physikalische Eigenschaften verschieden sein. Ihre Zusammensetzung in 100 Theilen ist $C_{50,9} H_{7,2} N_{18,3} O_{22,7} S_{0,5}$; die Asche, meist phosphorsaure Kalkerde, beträgt von 0,6 bis 5 pCt.; der Gehalt an Schwefel ist wechselnd bis zu 1 pCt.; er ist durch Kochen mit Kali nicht nachweisbar.

Die absolute Atomzahl stellt Mulder durch $C_{13} H_{10} N_2 O_5$ dar; dass diese Annahme ungenügend sei, geht schon daraus hervor, weil in dieser Formel der Schwefel keine Stelle erhalten hat. Zudem sind die Verbindungen mit Cl und Gerbsäure, welche Mulder zur Bestimmung des Atomgewichts benutzt hat, entweder leicht zersetzlich oder sehr complizirter Natur. Die Zersetzungsprodukte des Leims führen zudem zu ganz anderen Annahmen, dahin nämlich, dass der Leim und die Eiweissstoffe gewisse gemeinsame Atomgruppen enthalten, so dass sich also der Leim diesen Stoffen sehr annähert. Denn: mit chromsaurem Kali oder Mangansuperoxyd und Schwefelsäure behandelt, gibt Leim alle die Zersetzungsprodukte der Eiweissstoffe mit der wahrscheinlich unwesentlichen Ausnahme des Aldehyds der Propionsäure. Mit SO_3 und Alkalien gekocht zerfällt er nach Mulder (neben andern Produkten?) in Ammoniak, Glycocoll und Leucin. Guckelberger, der zuerst die Aehnlichkeit der Zersetzungsprodukte der Eiweissstoffe und des Leims durch Oxydationsmittel nachgewiesen, glaubt Casein und Leim als entgegenstehende Glieder einer Gruppe aufstellen zu dürfen, indem Casein am meisten Bittermandelöl und Benzoesäure, Leim dagegen am meisten Essigsäure und Ameisensäure liefere. Die Aehnlichkeit beider Stoffe bethätigt sich auch durch die mannigfache Uebereinstimmung in physikalischen Eigenschaften.

Collagen zeigt, wie die Eiweissstoffe, die sogenannte Selbstzersetzung; diese geschieht unter denselben Bedingungen, wie die des Eiweisses; ausnahmsweise hindern arsenige Säure und Gerbsäure die Leimzersetzung, aber nicht die der Eiweisstoffe. Während derselben wirkt es ebenfalls fermentirend, und zwar, soweit bekannt, ähnlich den Eiweissstoffen. Ob es aber und wie es hierdurch für den Organismus bedeutend wird, ist unbekannt. — Von seinen übrigen chemischen Eigenschaften ist nichts wesentliches bekannt, da Collagen nicht als solches in Auflösung gebracht werden kann. In seinen physikalischen Eigenschaften, namentlich denen der Imbibition, der Elastizität, des Mangels an Krystallisationsvermögen,

steht es den festen Eiweissstoffen nahe. Wir müssen aber ihre Besprechung auf Knochen, Bindegewebe, Haut u. s. w. verweisen, weil wir bis jetzt nur die Eigenschaften des in bestimmte Formen gebrachten Collagens, nicht aber die des homogenen Stoffes kennen.

Das Collagen wird beim Fleischfresser schon mit der Nahrung eingeführt; beim Säugling und bei den von Pflanzenkost lebenden Individien dagegen niemals; bei diesen muss es sich also im Organismus bilden.

Anhangsweise verdient erwähnt zu werden, dass Scherer*) im sogenannten weissen Blut Milzkranker, einen Stoff fand, dessen Reaktionen denen des Leims identisch waren.

*) Verhandlungen der med. physikalischen Gesellschaft zu Würzburg II. Bd. 321.

Zweiter Abschnitt.

Physiologie der Aggregatzustände.

Da die im vorigen Abschnitt beschriebenen Atome in den drei möglichen Aggregatzuständen zur Bildung des Organismus zusammentreten, so müsste, indem wir auf einer weiteren Verfolgung ihrer Leistungen für den Lebenshergang begriffen sind, erörtert werden, wie sich die Eigenschaften der Masse im Allgemeinen verändern, wenn sie aus diesem in jenen Aggregatzustand eintritt. Wir unterlassen jedoch gröstentheils die in diesem Sinne möglichen Betrachtungen, weil sie in ihrer Allgemeinheit geführt, den Physiologen wenig befriedigen und in der That auch nur zu einer einfachen Uebertragung der bekannten Abschnitte physikalischer Lehrbücher über Wärmeleitung, Dichtigkeit, Elastizität, Druckmittheilung, Porosität u. s. w. u. s. w. führen würden. Nur eine Folge des flüssigen Aggregatzustandes, die Diffusionen werden wir ausführlicher behandeln.

Diffusionen.

Zwei Flüssigkeiten, tropfbare oder gasförmige, durchdringen sich, vorausgesetzt, dass sie keine deprimirende Capillarität zu einander zeigen, wenn sie unmittelbar in Berührung gelangen, auch ohne Vermittlung der chemischen Verwandtschaft und der mechanischen Erschütterung so innig, dass schliesslich der ursprünglich nur von einer derselben eingenommene Raum auch von der andern erfüllt wird. Diese Erscheinung findet, unter Voraussetzung der Undurchdringlichkeit körperlicher Massen und ihrer Zusammensetzung aus kleinsten Theilchen (Molekeln), nur dann eine Erklärung, wenn die Molekeln den Massenraum nicht ununterbrochen ausfüllen, so dass Lücken (molekulare Poren) zwischen ihnen übrig bleiben.

Die Erscheinungen selbst, sowie die ihr zu Grunde liegenden Ursachen, sind andere bei den Luftarten, als bei den tropfbaren Flüssigkeiten; beide müssen darum gesondert betrachtet werden,

Gasdiffusion *).

1. Diffusion zweier Gasarten bei unmittelbarer Berührung. Berühren sich zwei verschiedene Gase unmittelbar (wie z. B. in den Poren einer sie trennenden trocknen, sehr dünnen Scheidewand), unter der Voraussetzung, dass beide Luftarten demselben Barometerdrucke und derselben Temperatur unterworfen sind, so strömen sie mit Geschwindigkeiten in einander, die sich verhalten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten (den Dichtigkeiten) beider Gase. Da, wegen der Gleichheit der Berührungsflächen, die Stromflächen beider Gase gleichen Querschnitt besitzen, so folgt hieraus, dass die Volumina, welche zwei in einander diffundirende Gase austauschen, sich ebenfalls umgekehrt wie die Wurzeln aus den Dichtigkeiten der Gase verhalten. Aus dieser Erfahrung folgert man, dass die Ursache der Mischung durch Diffusion in der Spannkraft, die einer jeden der Luftarten zukommt (in der Repulsion, welche zwischen ihren einzelnen Theilchen besteht) gelegen sei, und ferner, dass zwischen den Molekeln zweier verschiedener Gasarten keine Abstossung besteht, oder mit andern Worten, dass zwei verschiedene Gasarten keinen Druck aufeinander ausüben.

Diese Folgerungen erlaubt man sich, weil verschiedene Gasarten in demselben Verhältniss der Geschwindigkeiten in den leeren Raum eindringen, mit denen sie sich in einander ergiessen; denn nach einem von Dalton aufgestellten Gesetz strömen durch weite und kurze Röhren verschiedene Gasarten mit Geschwindigkeiten in den luftleeren Raum, die sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten verhalten. Die Nothwendigkeit des Diffusionsgesetzes lässt sich nach S. Thomson in folgender Weise ableiten. Wenn, wie vorausgesetzt, die Flächeneinheiten zweier Gase dem Druck einer gleich hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht halten, so sind auch ihre bewegenden Kräfte gleich, sodass, wenn die Gasflächen unter dem vorhandenen Druck in Bewegung kommen, in beiden Fällen auch das Product aus der Masse in die Geschwindigkeit gleich sein wird; bezeichnen wir demnach die Massen der beiden Gase mit m und m' und die zugehörigen Geschwindigkeiten mit c und c' so würde $mc = m'c'$. Nun ist aber die Masse eines jeden Körpers, also auch die eines Gases, gleich dem Volum desselben (v und v') multiplizirt mit der Anzahl wägbarer Theilchen in der Volumeinheit, respective seiner Dichtigkeit (d und d'). Würden die daraus gewonnenen Ausdrücke $vd = m$ und $v'd' = m'$ in den obigen übertragen, so erhalten wir $vdc = v'd'c'$. Da nun ferner die Geschwindigkeiten zweier Gasströme von gleichem Querschnitt gemessen werden durch das Volum, welches sie in gleicher Zeit überführen, so kann in der letzten Gleichung statt v und v' auch c und c' gesetzt werden und sie geht darum über in $c^2d = c'^2d'$. Aus dieser Gleichung ergiebt sich aber nach bekannten Regeln die Proportion $c^2 : c'^2 = d' : d$ und daraus $c : c' = \sqrt{d'} : \sqrt{d}$. Diese Ableitung, welche für den Beginn des Diffusionsstromes gilt, ist auch während der Dauer desselben giltig, vorausgesetzt, dass der Druck in den beiden einander ent-

*) Poggendorf, Artikel Diffusion im Handwörterbuch der Chemie 2. Bd. — A. Fick, Medizinische Physik. Braunschweig. 1856. — R. Bunsen, Geometrische Methode. 1857. 209.

gegengesetzten Räumen derselbe bleibt, wie Thomson an dem zitirten Ort weiter ausführt. — Obwohl nun insoweit die Uebereinstimmung zwischen dem Strom einer Gasart in eine andere und in den luftleeren Raum ein vollkommner ist, so bestehen doch auf der anderen Seite auch wichtige Unterschiede. Namentlich ist die absolute Geschwindigkeit des Stromes, mit der ein jedes Gas bei gleichen Druckdifferenzen und gleicher Reibung in den luftleeren Raum einströmt, viel grösser, als wenn es in einen mit heterogener Luft gefüllten Raum übergeht, und ausserdem geht ein und dasselbe Gas bei gleichem Druck in verschiedene andere auch mit verschiedener Geschwindigkeit über (Graham). Daraus leuchtet ein, dass die Gase während des Strömens sich gegenseitig Hemmungen irgend welcher Art bereiten. — Schliesslich darf nicht übersehen werden, dass, wenn eine bestehen soll, Uebereinstimmung zwischen dem Dalton'schen Gesetze und dem Diffusionshergang das sogenannte Graham'sche Gesetz nicht in voller Schärfe giltig sein darf. Nach Graham strömen nämlich auch durch eine engporöse trockene Scheidewand zwei Gase ineinander mit Geschwindigkeiten, die sich umgekehrt wie die Wurzeln aus den Dichtigkeiten verhalten. Für einen Gasstrom der durch capillare Oeffnungen von merklicher Länge in den luftleeren Raum geschieht, wie in dem Graham'schen Fall, gilt aber bekanntlich das Dalton'sche Gesetz nicht mehr*), da jedes Gas für die Wand mit einem besonderen Reibungscoefficienten behaftet ist, der einen spezifisch verlangsamenden Einfluss auf seine Stromgeschwindigkeiten ausübt.

Der hier erörtete Fall findet im menschlichen Organismus nur selten Anwendung; so weit wir wissen gilt er nur für Luft, die aus den kleinen Bronchialzweigen in die grössern, und aus den Sinus der Nasenhöhlen in diese selbst dringt u. s. w.

2. Diffusion der Gasarten in tropfbare Flüssigkeiten**); Absorption der Gase. Gerade so wie Luftarten in Räume strömen, die scheinbar schon von andern Gasen eingenommen sind, dringen sie auch ohne Zuthun der chemischen Verwandtschaft in tropfbare Flüssigkeiten. Den Beweis, dass sie in diesen noch als Gase (in den molekularen Poren der Flüssigkeit) enthalten seien, finden wir darin, dass die absorbirten Gase dem Mariotte'schen Gesetz folgen, denn das spezifische Gewicht des absorbirten Gases steigt geradezu mit dem Drucke. Für diese Diffusion gelten folgende Gesetze: a) Unter Voraussetzung einer constanten Temperatur nimmt eine jede Flüssigkeit von einem jeden Gase nur ein ganz bestimmtes Volum; die absorbirte Gewichtsmenge des Gases ist demnach abhängig von dem Drucke, unter welchem sich das Gas in der Flüssigkeit findet.

So nimmt z. B. 1 Kubikcentimeter Wasser von 0°C. 1,7967 C.C. Kohlensäure auf, gleichgiltig ob die Kohlensäure bei $^1/_4$, $^1/_2$, 1, 2 u. s. w. Atmosphärendruck aufgesogen wurde. Die bei verschiedenen Atmosphärendrücken aufgenommenen Gewichts-

*) Graham on the motion of gases. Philosophical Transactions. Part IV for 1846.

**) Poggendorf, Handwörterbuch der Chemie, Art. Absorption. — A. Fur, Medizinische Physik. Braunschweig 1856 p. 21. — Magnus, Poggendorf's Annalen 66. Bd. 194. — Donny, Annal. de chim. et phys. XVI 167. (1846). — Bunsen, Liebig's Annal. Januarheft 1855.

mengen der Gasart verhalten sich aber wie die Werthe der Drücke. Das Bedeutungsvolle bei dem Hergang besteht also darin, dass ein gewisses Gewicht des Wassers nicht ein bestimmtes Gewicht von CO_2, sondern ein bestimmtes Volum HO ein bestimmtes Volum CO_2 aufnimmt.

b) Die verschiedenen Gasarten und Flüssigkeiten sind in Beziehung auf einander mit besondern Absorptionscoefficienten behaftet, d. h. in einer jeden Flüssigkeit diffundiren von verschiedenen Gasarten ganz verschiedene Volumina und eine jede Gasart diffundirt mit ganz verschiedenen Maastheilen in verschiedenen Flüssigkeiten. c) Dieser Coefficient ändert sich mit der Temperatur der Flüssigkeit und zwar nimmt er für gewöhnlich mit der steigenden Wärme ab.

Der Absorptionscoefficient und seine Beziehungen zur Temperatur sind nur in wenigen Fällen mit genüger Schärfe festgestellt worden. Aus einer hervorragenden Arbeit von Bunsen wären für unsere Zwecke folgende Zahlen hervorzuheben: Von der Volumeinheit Wasser werden absorbirt

Gasart	Temperatur	Aufgenommenes Volum
Kohlensäure	0^0	1,7967
	$2^0 0^0$	0,9046
Stickgas	0^0	0,02034
	20^0	0,01401
Sauerstoff	0^0	0,04114
	20^0	0,02838

Aus der Annahme, dass das Gas als solches in der Flüssigkeit enthalten sei, folgt die durch die Erfahrung bestätigte Ableitung, dass eine Flüssigkeit, welche ganz oder theilweise mit einer Luftart gesättigt ist, beim Einbringen in einen Raum, der mit einer andern Gasart erfüllt ist, einen Theil ihres Gases verliert und umgekehrt einen Antheil des neuen aufnimmt. Denn da die fremde Gasart keinen Druck auf die in der Flüssigkeit enthaltenen ausübt, dunstet so lange aus dieser letzteren Gas ab, bis dieses ausserhalb der Flüssigkeit denselben Druck besitzt, als die innerhalb derselben befindliche gleichartige. Aus demselben Grund wird aber auch das neue Gas in die Flüssigkeit dringen müssen. — Unter Berücksichtigung des für jede Gasart eigenthümlichen Absorptionscoefficienten ergiebt sich ferner, dass, wenn ein Gemenge verschiedener Gasarten in eine Flüssigkeit eintritt, die verschiedenen Gasarten innerhalb derselben in andern Volumverhältnissen enthalten sein müssen, als in dem Luftraum.

Es ist noch nicht gelungen, eine scharfe Vorstellung über den ganzen Absorptionshergang zu bilden. Man kann nach dem Vorstehenden nur im Allgemeinen aussprechen, dass die Absorption ebensowohl eine Folge der Gasspannung, als auch der molekulären Anziehungen zwischen Gasen und Flüssigkeiten ist. Zur Hinzuziehung

des letzteren Einflusses nöthigt uns 1) der besondere Absorptionscoefficient, wie besonders einleuchtet, wenn er die Einheit übersteigt, d. h. wenn ein Maastheil Flüssigkeit mehr als einen Maastheil Gas aufnimmt. Aus einem einfachen Eindringen der Gasart in Lücken zwischen die Flüssigkeitstheilchen kann diess nicht erklärt werden. — 2) Die Thatsache, dass die Cohäsion gashaltiger Flüssigkeiten geringer ist, als die gasfreier. — 3) Die geringe Geschwindigkeit, mit welcher das Gas in die Flüssigkeitsporen eindringt.

3. Diffusion zweier Gasarten ineinander, welche durch eine wässerige Scheidewand getrennt sind. — Die Combination der beiden Fälle, in welchen Gase in Gase und Gase in Flüssigkeiten einströmten, erlaubt im Allgemeinen eine Ableitung für den hier zu besprechenden Fall, indem sich der Erfolg desselben offenbar richtet nach den Diffusionsgeschwindigkeiten, dem Absorptionscoefficienten der betreffenden Gase. Denken wir uns, um sogleich zu einem Beispiel überzugehen, ausser den früher schon angenommenen Bedingungen gleichen Barometerdruckes und gleicher Temperatur rechts von der Scheidewand eine Flüssigkeit, von geringerem spezifischem Gewichte als links, so würde ohne die Gegenwart der Flüssigkeitsschicht dieselbe rascher und in grösseren Mengen diffundiren; denken wir uns nun aber, dass die Gasart rechts zugleich weniger rasch und weniger massenhaft in der Flüssigkeit der Scheidewand löslich sei, als die links liegende, so kann sie das Uebergewicht, was sie erhielt, wieder einbüssen. Man muss sich, um sich den Hergang vollkommen klar zu machen, die Vorstellung aneignen, dass mit dem grösseren oder kleineren Absorptionscoefficienten der Flüssigkeit, der Querschnitt des diffundirenden Gasstromes steigt und fällt, und somit der Stromquerschnitt derjenigen beiden Gasarten, welche mit einem geringern Absorptionscoefficienten behaftet ist, kleiner ist, als der des andern Gases. — Dieser Auseinandersetzung entsprechen, so weit wir wissen, die Erfahrungen vollkommen.

Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten *).

1. Diffusion der Flüssigkeiten in Luftarten: Verdunstung. Auf die Verdampfung sowohl, wie auf die Eigenschaften

*) E. Brücke de diffusione humorum p. septa viva etc. Berlin 1842 und Poggend. Annalen 1843. Poggendorff, Art. Absorption im Handwörterbuch d. Chemie I. Bd. u. Diffusion ibid. II. Bd. 596. Vierordt, Bericht über die bisherigen die Endosmose betreffenden Untersuchungen u. s. w. im Archiv v. Roser u. Wunderlich 1846, 47 u. 48. — Liebig, Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung. Braunschweig 1848. Jolly, Experimentaluntersuchungen über Endosmose. Zeitschrift für ration. Medicin Voll. VII. — C. Ludwig über endosmot Aequivalente u. endosm·

des gebildeten Dampfes üben Einfluss: die Eigenthümlichkeit der verdunstenden Flüssigkeit, die Wärme, und der Druck der auf die Flüssigkeitsoberfläche sowohl von Seiten der verdampfenden als auch von Seiten anderer Gasarten trifft. — a. In dem Maasse, in welchem die Dichtigkeit und die damit Hand in Hand gehende Spannung der gleichartigen Dämpfe in dem über der Flüssigkeit stehenden Raume wächst, nimmt die Befähigung der Flüssigkeit zu verdampfen bis zum vollkommnen Verschwinden der Dunstbildung ab. Der Werth, welchen die durch den Druck einer Quecksilbersäule messbare Spannung des gleichartigen Dampfes erreicht haben muss, damit sie dem Verdampfungsbestreben der Flüssigkeit das Gleichgewicht halten kann, ist mit verschiedenen gleich zu erwähnenden Umständen verschieden; einen Raum, der mit Dampf von diesen bestimmten Kennzeichen erfüllt ist, nennt man gesättigt. Da der Dampf des gesättigten Raumes zugleich die Eigenschaft hat, durch einen stärkeren ihn treffenden Druck als den, welchen er auf eine Quecksilbersäule auszuüben vermag, zu Flüssigkeit verdichtet zu werden, so bezeichnet man diesen Zustand der Sättigung auch durch den Ausdruck, der Dampf sei im Maximum der Spannung. — b. Ungleichartige Dämpfe oder Gasarten scheinen, insofern die chemische Verwandtschaft nicht in das Spiel kommt, nicht aufeinander zu wirken. Dieses ergiebt sich daraus, dass die Dichtigkeit, welche der Dampf in dem Raume über der Flüssigkeit, aus der er entwickelt wurde, gewinnen kann, nicht beeinträchtigt wird durch die beliebige Spannung oder Dichtigkeit anderer Gasarten, welche in dem bezeichneten Raum vorhanden sind. Dieser Satz, dessen Giltigkeit bisher unbestritten war, würde jedoch nach den neuesten Erfahrungen von Regnault eine Einschränkung erfahren müssen, da sich nach diesen unter sonst gleichen Umständen das Maximum der Dampfspannung im luftleeren Raum etswas höher stellt, als im lufterfüllten. — Unter allen Umständen wirken dagegen die ungleichartigen Gasarten auf die in Verdampfung befindliche Flüssigkeit durch ihren Druck, wie sich einfach daraus ergiebt, dass mit dem steigenden Druck derselben die Geschwindigkeit des Verdampfens abnimmt. — c. Die Wärme bedingt 1) die Möglichkeit der Verdampfung überhaupt, indem für

Theorie ibid. Voll. VIII. Cloetta, Diffusionsversuche durch Membranen mit 2 Salzen. Zürich 1851. — Olechnowitz, experimenta quædam de endosmosi. Dorpat 1851. — Wistingshausen, experimenta quædam endosmotica etc. Dorp. 1851. Berliner physikal. Jahresberichte für 1845 pag. 26 für 1847 p. 14 u. 1848 p. 24. Verfasst von E. Brücke. — Ad. Fick, Medicinische Physik. Braunschweig 1856 p. 34. Wittich, Müller's Archiv 1856. 286.

jegliche Flüssigkeit eine gewisse untere Temperaturgrenze besteht, jenseits der sie zu verdampfen aufhört. Faraday, der diese Behauptung aufstellt, hat sie jedoch bis dahin nur für Quecksilber erwiesen, welches bei — 5°C nicht mehr verdampft. — 2) Sie bestimmt die Spannung und Dichtigkeit des gebildeten Dampfes, und zwar nimmt die Dichtigkeit eines bestimmten Dampfvolums ab, wenn sie erwärmt und an ihrer darauf folgenden Ausdehnung nicht gehindert wird; die Spannung derselben aber nimmt zu, wenn das Volum constant erhalten wird. Beides, die Dichtigkeits- und Spannungsveränderung, sind für jeden einzelnen Fall mit Hilfe des Mariotte'schen Gesetzes leicht zu berechnen, wenn bekannt ist, um welchen Bruchtheil das ursprüngliche Volum zunimmt für die Erwärmung um 1°C (Ausdehnungscoefficient). — 3) Die Wärme bestimmt ferner das Maximum der Dampfdichte, indem die Raumeinheit um so mehr Dampf zufassen vermag, je höher die verdunstende Flüssigkeit, resp. der überstehende Raum, erwärmt ist. Das Maximum der Spannkraft der Dämpfe und ihrer Abhängigkeit von der Temperatur muss für jeden Dampf empirisch ermittelt werden. — 4) Je rascher Wärme zugeführt wird, um so geschwinder geht die Verdampfung vor sich. — d. Die Natur der Flüssigkeit kommt in Betracht, insofern unter sonst gleichen Umständen eine jegliche homogene Flüssigkeit mit einer eigenthümlichen Geschwindigkeit verdampft und der gesättigte Raum mit ungleich dichtem Dampf erfüllt ist, mit andern Worten, die verschiedenen Dämpfe unterscheiden sich bei gleichen Temperaturen durch ihr Maximum der Spannkraft. — Werden aber in einer homogenen Flüssigkeit feste Stoffe, also in Wasser Salze, aufgelöst, so üben diese einen Einfluss sowohl auf die Verdunstungsgeschwindigkeit, wie auf die Dichte des gesättigten Dampfes, die sie im Allgemeinen erniedrigen.

Die numerische Angabe einiger der erwähnten Constanten, wie namentlich der Ausdehnungscoefficienten der CO_2 und des HO Dampfes, der Spannungsänderungen des gesättigten Dampfes mit den Temperaturen unterbleibt, weil sie theils an andern Orten dieses Werkes beigebracht werden wird, theils weil sie ein jedes physikalisches Lehrbuch vorführt.

2. Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten in einander. Die Lehre von der Hydrodiffusion, wie du Bois im Gegensatz zu der Gasdiffusion die Durchdringung tropfbarer Flüssigkeiten genannt haben will, hat sich nur erst an einigen Punkten aus dem Bereich der Casuistik in das des Gesetzes erhoben.

Das Bestehen der Hydrodiffusion, d. h. der Erscheinung, dass aus in ihnen selbst gelegenen Gründen zwei oder mehrere in Be-

rührung gekommene, verschieden zusammengesetzte Flüssigkeiten ihre Bestandtheile so lange austauschen, bis sie überall vollkommen gleichartig sind, wird dadurch erwiesen, dass diese Vermischung unter den erwähnten Bedingungen vorkommt, selbst wenn keine andere Ursache derselben, (Erschütterung, spezifisches Gewicht u. s. w.) aufzufinden ist. Diese gegenseitige Durchdringung sieht man aber in der gegebenen Beschränkung selbst wieder als Folge zweier grundsätzlich verschiedener Ursachen an, nämlich einerseits der chemischen Verwandtschaft und anderseits der gegenseitigen Abstossung gleichartiger Atome, wenn sie im flüssigen Zustand befindlich sind. Den Beweis, ob der eine oder andere dieser Einflüsse wirksam gewesen sei, glaubt man herleiten zu können aus der Entwicklung oder Bindung von Wärme und aus der vorhandenen oder mangelnden Verbindung nach chemischen Aequivalenten. Ohne zu untersuchen, inwieweit diese Annahme gerechtfertigt ist, wollen wir hier nur die Mischungen in Betracht ziehen, welche in beliebigen (nicht in äquivalenten) Verhältnissen ohne Entwicklung von Wärme geschehen.

Der Hydrodiffusion im engern Wortsinn schicken wir einiges über Lösung*) fester Stoffe in Wasser voraus, welche im wesentlichen als eine Diffusion fester Stoffe in Wasser bezeichnet werden könnte. Die Erscheinungen, welche die Lösung, d. h. die Verflüssigung fester Stoffe durch Wasser auszeichnen, sind:

a) Es wird jedesmal Wärme latent gemacht. Da diese Wärme unzweifelhaft dazu verwendet wird, um die Cohäsion des festen Stoffes zu überwinden, seinen Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand möglich zu machen, so muss die Menge der jeweilig verschluckten Wärme mindestens den Werth derjenigen erreichen, welche beim Schmelzen des fraglichen Stoffes in höhern Temperaturen latent wird. Die Erfahrungen von Graham und Person lehren nun aber, dass bei der Auflösung mehr Wärme dem freien Zustand entrückt wird, als bei der Schmelzung, und namentlich dass, alles Andere gleichgesetzt, die Menge der verschluckten Wärme wächst mit dem Grade der Verdünnung, welchen die Lösung erfährt, oder anders ausgedrückt, mit der Ausdehnung,

*) Gay Lussac, Annales de chim. et phys. XI. 296. — Poggendorf, Handwörterbuch der Chemie I. 596. — Gmelin, Handbuch der Chemie. 4. Aufl. 1. Bd. p. 523. — Graham, Philosoph. Mag. XXIVI. Person, Annal. de chim. et physiq. 3me Ser. XXXIII. — Regnault, Compt. rend. XXXIX. 301 u. folg. — Plücker, Poggendorf's Annal. 92 p. 193. — O. Schmidt, Charakteristik der epidem. Cholera p. 23 u. folg. — Kremers, Poggendorf's Annalen, Bd. 85 u. 92.

welche der in der Flüssigkeit vertheilte Stoff erleidet. Diese Thatsache führt zu der wichtigen Folgerung, dass die Theilchen des in Auflösung befindlichen festen Stoffes sich noch fortwährend in einer gegenseitigen Anziehung zu finden, so dass zu jeder weitern Entfernung derselben ein Aufwand von lebendigen Kräften erforderlich ist.

Für den Anfänger muss zur Abwehr gegen Missverständnisse noch angegeben werden, dass es nur scheinbar ist, wenn bei der Lösung eines Stoffes weniger Wärme latent wird, als bei der Schmelzung. Freilich wird häufig durch die Lösung der Umgebung sehr wenig Wärme entzogen; dieses geschieht aber nur darum, weil in Folge der Lösung auch Wärme frei wird, welche zu Verflüssigung des Salzes benutzt werden kann. Die Quellen, aus welchen jene Wärme fliesst, liegen theils in der eintretenden Verdichtung, theils darin, dass die Wärmecapacität der Lösung geringer ist, als diejenige des Wassers und des flüssigen Salzes für sich. Besondere Beweise hiefür siehe bei Person.

b) Das spezifische Gewicht (die Dichtigkeit) der Lösung ist nicht das mittlere aus demjenigen des festen Stoffes und der Flüssigkeit; es ist stets höher als das hypothetische mittlere. — c) Der Siede- und Gefrierpunkt des Lösungswassers hat sich erhöht, beziehungsweise erniedrigt, ebenso wie die Ausdehnungsfähigkeit der Lösung durch die Wärme geringer ist als die mittlere zwischen der des festen Stoffes und der Flüssigkeit.

Diese letzten beiden allgemein gültigen Thatsachenreihen beweissen, dass auch die Theilchen des Lösungsmittels und des aufgelösten Stoffes sich gegenseitig innig binden, weil namentlich nur unter dieser Voraussetzung verständlich wird, dass das Wasser in der Lösung seinen flüssigen Zustand Temperaturen gegenüber bewahrt, welche das freie Wasser schon in Dampf oder Eis verwandelt hätten. In welchem Verhältniss aber Erhöhung des Siedepunkts und Verdichtung der Lösung zu dem Grade der Verwandtschaft steht, ist noch nicht zu ermitteln.

d) Wie die Gasarten, so verbreiten sich auch die festen Stoffe in sehr variablen Mengen in der Flüssigkeit; in den meisten Fällen steigt die gelöste Menge mit der Temperatur bald direct und bald rascher. Doch giebt es hievon zahlreiche Ausnahmen, da einzelne Stoffe sich bei allen Temperaturen in gleichen Mengen lösen und andere sogar in höhern weniger löslich sind, als in niedern. Ausser der Temperatur üben auf die Löslichkeit eines Stoffes Einfluss, die Gegenwart anderer schon im Lösungswasser enthaltener Atome, und gewisse Eigenschaften des festen Stoffes; wie z. B. das spezi-

fische Gewicht der Salzverbindungen verschiedener Basen mit demselben electronegativen Stoff (Kremers).

Ueber die Geschwindigkeit, mit der die Lösung erfolgt, fehlt es an brauchbaren Untersuchungen.

Diffusion einer Lösung in Wasser*). Da dieser Vorgang in seinem Endeffekt mit der Lösung, resp. Verdünnung übereinkommt, so müssen hier und dort die physikalischen Bedingungen und Folgen gleich sein. Beide Prozesse unterscheiden sich nur durch den zeitlichen Verlauf, resp. durch die Geschwindigkeit, mit welcher die Mischung von Wasser und Lösung vor sich geht. Bei der Mischung durch Diffusion, d. h. bei derjenigen, bei welcher einzig die Molecularkräfte die Durchdringung bedingen, ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Theilchen des gelösten Stoffes in das Wasser und umgekehrt diese zwischen jene dringen, abhängig: von der besonderen Natur des gelösten Stoffes, von dem Unterschiede der Dichtigkeiten, von den Orten, von und zu welchen der Strom geht und endlich von der Temperatur. — Indem Ad. Fick scharfsinniger Weise auf den Diffusionshergang die Betrachtungsweise übertrug, welche von Fourrier und Ohm auf die Leitung der Wärme und Electrizität angewendet war, konnte er durch einfache Versuche den Beweis herstellen, dass, alles Andere gleichgesetzt, die Geschwindigkeit, mit welcher der feste Stoff im Diffusionstrom von einen zum andern Querschnitt übergeht, abhängig ist von dem Unterschiede seiner Dichtigkeit in beiden Querschnitten. In diesem Sinne ist also die Diffusion fester Stoffe in Flüssigkeiten analog dem Strom zweier Gasarten in einander. — Der Werth, welchen die Diffusionsgeschwindigkeit bei gleichem Conzentrations-Unterschied annimmt, soll nach Graham direct mit der Temperatur wachsen. — Die Natur des Stoffes ist von sehr bedeutendem, in ihrem Grunde aber noch nicht erkanntem Einfluss. Stoffe, welche selbst in ihrer Auflösung noch cohärent sind, wie z. B. Eiweiss und Gummi diffundiren langsamer, NaCl, SO_3; HO rascher.

A. Fick bestätigte seine theoretischen Betrachtungen u. A. mittelst der Beobachtung einer Diffusionsströmung durch ein senkrecht stehendes cylindrisches Rohr, dessen unterster Querschnitt stets in Berührung war mit einer Lösung von constanter Conzentration, dessen oberster dagegen fortwährend von destillirtem Wasser begrenzt wurde; bevor er die Vertheilung des Salzes in dem cylindrischen Rohre feststellte, liess er dem Strome erst Zeit, um zum dynamischen Gleichgewicht zu kommen, d. h. zu den Strömungshergang, bei welchem an der unteren Mündung gerade soviel Salz eingeht, als an

*) Graham, Liebig's Annalen 77. u. 80. Bd. — A. Fick, Poggendorf's Annalen 94. Bd. 59.

der oberen austritt. War dieses geschehen, so bestimmte er in mehreren Querschnitten des Rohrs, deren gegenseitige Abstände bekannt waren, das spezifische Gewicht der dort enthaltenen Lösung und zwar dadurch, dass er den Gewichtsverlust einer in sie eingehängten Glasperle ermittelte. Hieraus ergab sich dann der Salzgehalt der untersuchten Orte. Die Rechnung, welche unter seinen Voraussetzungen ausgeführt war, verlangte nun, dass in einem constanten Strom von cylindrischem Querschnitt die Dichtigkeit der Lösung geradezu abnehmen musste, wie die Entfernung der betrachteten Orte vom Salzende zunahm, und diese Folgerung bestätigte in der That der Versuch. Mehrfache andere Uebereinstimmungen siehe in der angeführten Abhandlung.

Graham setzte ein kleines Glas voll Lösung von bekanntem Salzgehalt auf den Boden eines grössern Wasserbehälters, liess es dort mehrere Tage verweilen, nahm dann das Glas, nachdem er es mit einer Platte bedeckt, heraus und ermittelte von neuem die Salzmenge seines Inhaltes. Da die Lösung an den Grenzen des Diffusionsstromes nicht constant erhalten wurde, so giebt seine Methode natürlich keinen Werth für die Diffusionsgeschwindigkeit bei bestimmten Dichtigkeitsunterschieden. Noch weniger lässt sich mit Schärfe aus seinen Versuchen ableiten das Verhältniss der Diffusionsgeschwindigkeit zweier Stoffe, selbst wenn die Lösungen in dem Glase ursprünglich dieselbe Dichtigkeit besassen und die Beobachtung bei gleicher Temperatur geschah. Die folgenden für uns bedeutsamen Zahlen konnten darum nur als eine erste Annäherung an die Wahrheit betrachtet werde.

Bei gleicher Temperatur und gleicher Conzentration war die Diffusionsgeschwindigkeit, oder genauer gesagt, die Menge des ausgetretenen Eiweisses = 1 gesetzt, die des Kochsalzes = 19,05; des Magnesia sulfurica = 8,75; des Schwefelsäurehydrats = 22,50; des Rohrzuckers = 8,68; des Stärkezuckers = 8,75; des Gummi arabicums = 4,30.

Gleichzeitige Lösung mehrerer festen Stoffe und Diffusion eines Lösungsgemenges in Wasser. Ueber gleichzeitige Lösung solcher Salze, welche sich nicht gegenseitig zersetzen, sind Beobachtungen von Karsten, Kopp*) u. s. w. vorhanden. Wir erfahren aus diesen Beobachtungen vorerst das theoretisch noch nicht verwendbare Resultat, dass die Maxima der Gewichtsmengen beider in Lösung tretenden Stoffe sich gegenseitig so modifiziren können, dass von einem beliebigen Salze sich bald mehr und bald weniger in Wasser auflöst, wenn in diesem schon ein anderes enthalten war. — Graham hat die Frage in Angriff genommen, wie sich die Diffusion zweier in derselben Flüssigkeit gelösten Salze im Wasser verhalte. Er findet, dass die beiden Salze insofern unabhängig von einander diffundiren, als das mit einer grössern Diffusionsgeschwindigkeit gegen Wasser begabte auch aus dem Gemenge rascher diffundirt als das, welches auch für sich mit einer geringern Geschwindigkeit diffundirt. Das Verhältniss und der absolute Werth der Diffusionsgeschwindigkeiten kann hiebei

*) Siehe die Literatur mit Auszügen bei Gmelin, Handbuch der Chemie IV. Aufl. I. Bd. 525.

jedoch mancherlei Modifikationen erfahren. Werden zwei Salze von gleicher Diffusionsgeschwindigkeit gemischt, so nimmt die Diffusibilität des einen von ihnen relativ ab; werden solche von ungleicher Geschwindigkeit gemengt, so diffundirt das ursprünglich langsame meist noch langsamer. So gab z. B. in 7 Tagen eine 3,8 p. C. Lösung von NaCl = 11,0 Gewichtseinheiten, und eine 3,8 p. C. Lösung von $NaOCO_2$ = 7,3 G. C ab. Aus in Lösungsgemengen von je 3,8 p. C. NaCl und $NaOCO_2$ treten in derselben Zeit aus 12,4 NaCl und 5,7 $NaOCO_2$. Für den Physiologen bedeutungsvoll ist die Erfahrung von Graham, dass aus einer Eiweisslösung die beigemengten Salze mit derselben Geschwindigkeit, wie aus Wasser diffundiren. Diese Erfahrungen beweisen, dass durch einfache Diffusion eine partielle Zerlegung von Salzgemischen bewerkstelligt werden kann, ein Vorgang, der sich umsomehr einer vollkommenen Scheidung annähert, je grösser der Unterschied in der Diffusionsgeschwindigkeit der gemengten Stoffe ist.

Diffusion zweier Lösungen ineinander. Auch diesen Fall hat Graham behandelt, indem er Lösungen von $NaOCO_2$ in Lösungen von NaCl und $NaOSO_3$ diffundiren liess. Das $NaOCO_2$ trat in das Kochsalz in gleicher Menge wie in das Glaubersalz, aber in geringerer über, als in reines Wasser.

Diffusion zwischen Lösungen, deren Lösungsmittel sich nicht mischen, ereignet sich zum Beispiel wenn Oele, welche Seifen, Galle u. s. w. aufgelöst enthalten, mit Wasser in Berührung kommen. Diese sehr bemerkenswerthe Modifikation des Versuchs ist nur in einem Falle von Brücke behandelt. Brücke wählte zu den Versuchen Aether, Wasser und HgCl. — Die Fortsetzung dieser Versuche verspricht eine vielseitige und praktisch wichtige Ausbeute.

3. Diffusion von Flüssigkeiten in feste thierische Stoffe; Quellung, Imbibition. Es ist eine Eigenthümlichkeit vieler thierischen (und pflanzlichen) Stoffe, auf eine besondere Weise von Flüssigkeiten durchdrungen zu werden, wie wir schon p. 45 bei den Eiweisskörpern ausführten. Zu den dortigen Bemerkungen ist hier noch zuzufügen: Ein quellungsfähiger Stoff nimmt aus einer Flüssigkeit, in die er gelegt wurde, im Verlauf einer längern Zeit eine endliche Menge von Flüssigkeit auf, über welche hinaus keine weitere Aufnahme mehr stattfindet. Diese Menge nennt man das Quellungsmaximum; und insofern man das Gewicht oder Volum der aufgenommenen Flüssigkeit mit dem Ge-

wicht oder Volum des aufnehmenden Stoffes vergleicht, auch das Quellungsverhältniss. Dieses Quellungsmaximum wechselt nun, alles Andere gleichgesetzt, mit der Natur der Flüssigkeit und derjenigen des festen Thierstoffes, in der Art, dass ein und derselbe Stoff in verschiedene Flüssigkeiten, Oel, Alkohol, Wasser gelegt, von jeder ein anderes Maximum aufnimmt, und umgekehrt, dass dieselbe Flüssigkeit in verschiedene Stoffe, (Horn, Faserstoff, Colla u. s. w.) in einem andern Verhältniss eindringt. Das Quellungsverhältniss, namentlich aber auch die Geschwindigkeit des Eindringens von Flüssigkeiten, ist jedoch nicht allein hievon, sondern wie schon früher erwähnt, auch noch von andern Umständen abhängig, indem das Quellungsmaximum eines und desselben Stoffes in ein und derselben Flüssigkeit wechselt, je nach der Temperatur der Flüssigkeit oder dem Grade und der Dauer der Austrocknung, in welchem sich der Stoff vor der beginnenden Quellung befunden hatte.

Die Quellung stellt sich insofern in die Reihe der Diffusionen, als die Verbindung der Flüssigkeit und der festen Theile nicht nach atomistischen Gewichtsverhältnissen vor sich geht, und insofern als wir schliessen dürfen, dass hier wie dort die Erscheinung durch eine Aneinanderlagerung der unveränderten Theilchen des festen und flüssigen Stoffes geschehe. So sehr wir uns nun auch über die besondere Art der Zusammenlagerung im Unklaren befinden, so dürfen wir doch behaupten, dass in den meisten der aufgequollenen Stoffe die eingesogene Flüssigkeit zum Theil in weiteren Poren sich eingelagert finde, welche zwischen mehr oder weniger grossen Haufen von Molekeln vorhanden sind, zum Theil aber zwischen den Molekeln selbst gebettet sei. Diese Annahme einer solchen Lagenverschiedenheit gründet sich ebensowohl auf die Struktur der festen Stoffe, als auf die Quellungserscheinungen selbst. Was ersteren Punkt, die Struktur der quellenden Stoffe, anlangt, so wissen wir, dass viele derselben sich aus Massen von gegenseitig mehr oder weniger inniger Cohäsion zusammensetzen; wir erinnern hier nur an die Gewebe des thierischen Körpers, welche eine Zusammenhäufung gleichartiger oder ungleichartiger Formelemente darstellen; die Verbindung der einzelnen Formelemente miteinander ist eine so lockere, dass man an die Gegenwart gröblicher, sogenannter physikalischer Poren zwischen ihnen denken darf, während die zu einem der Formelemente zusammengeordneten Molekeln sich so innig verbinden, dass, wenn man hier überhaupt Poren statuiren will, sie nur als intermolekuläre bestehen können.

Die Flüssigkeit dringt nun aber thatsächlich sowohl in den Raum zwischen die Formelemente, als auch in diese selbst. In Uebereinstimmung mit dieser Betrachtung finden wir nun, dass die eingedrungene Flüssigkeit theilweise mit Leichtigkeit durch Zusammenpressen des gequollenen Stoffes zum Ausfliessen gebracht werden kann, während ein anderer Theil derselben den kräftigsten Druckwirkungen widersteht; ferner dass bei dem normalen Siedepunkt der Flüssigkeit ein Theil mit Leichtigkeit in Dampf verwandelt werden kann, während ein anderer erst bei höheren Temperaturen Dampfform annimmt.

Die Umstände, welche überhaupt Einfluss auf die Quellung üben, sind: a) die Verwandtschaft der Flüssigkeit zu den festen Stoffen; diese sehen wir ausgeprägt durch die Fähigkeit der trockenen Stoffe, die Dämpfe der Flüssigkeiten, von welchen sie imbibirt werden, in flüssiger Form in sich niederzuschlagen; oder mit einem Wort durch die hygroskopischen Eigenschaften der quellungsfähigen Stoffe, und weiter durch die Steigerung des Siedepunktes der aufgenommenen Flüssigkeiten (?).

Diese Eigenschaften hat man noch nicht als Maass zur Feststellung einer Verwandtschaftsscala angewendet. Ein anderes Maass, welches Liebig hierzu benutzt hat, ist das Quellungsmaximum und die Quecksilberhöhen, welche nöthig sind, um die Filtration der Flüssigkeit durch dünne Stücke von bekannter Dicke einzuleiten. Inwiefern hieraus ein solches gewonnen werden kann, ist aber vollkommen unklar und es dürften darum, so lange die Beziehung des Filtrationsdruckes und des Quellungsmaximums zu der Verwandtschaft nicht fest steht, die Liebig'schen Zahlen für diesen Zweck werthlos sein.

b) Die Cohäsion der Molekeln des aufquellenden Stoffes; die Bedeutung dieses Einflusses ist von selbst klar, wenn man erwägt, dass der aufquellende Stoff durch die eingetretenen Wassermengen sein Volum ändert; damit also die Flüssigkeitstheilchen eintreten können, müssen sie die Theile der festen Stoffe auseinanderzerren. c) In Stoffen, welche aus einer Zusammenhäufung von Formelementen bestehen, ist für die in den Zwischenräumen der letzteren sich bildenden gröberen Poren von Bedeutung, die Gestalt und die daraus folgenden gegenseitigen Lagerungen, welche die aufgequollenen Formen annehmen. d) Die Cohäsion der Flüssigkeit, welche hier von ähnlicher Wirksamkeit sein muss als beim Aufsteigen derselben in Capillaröhren.

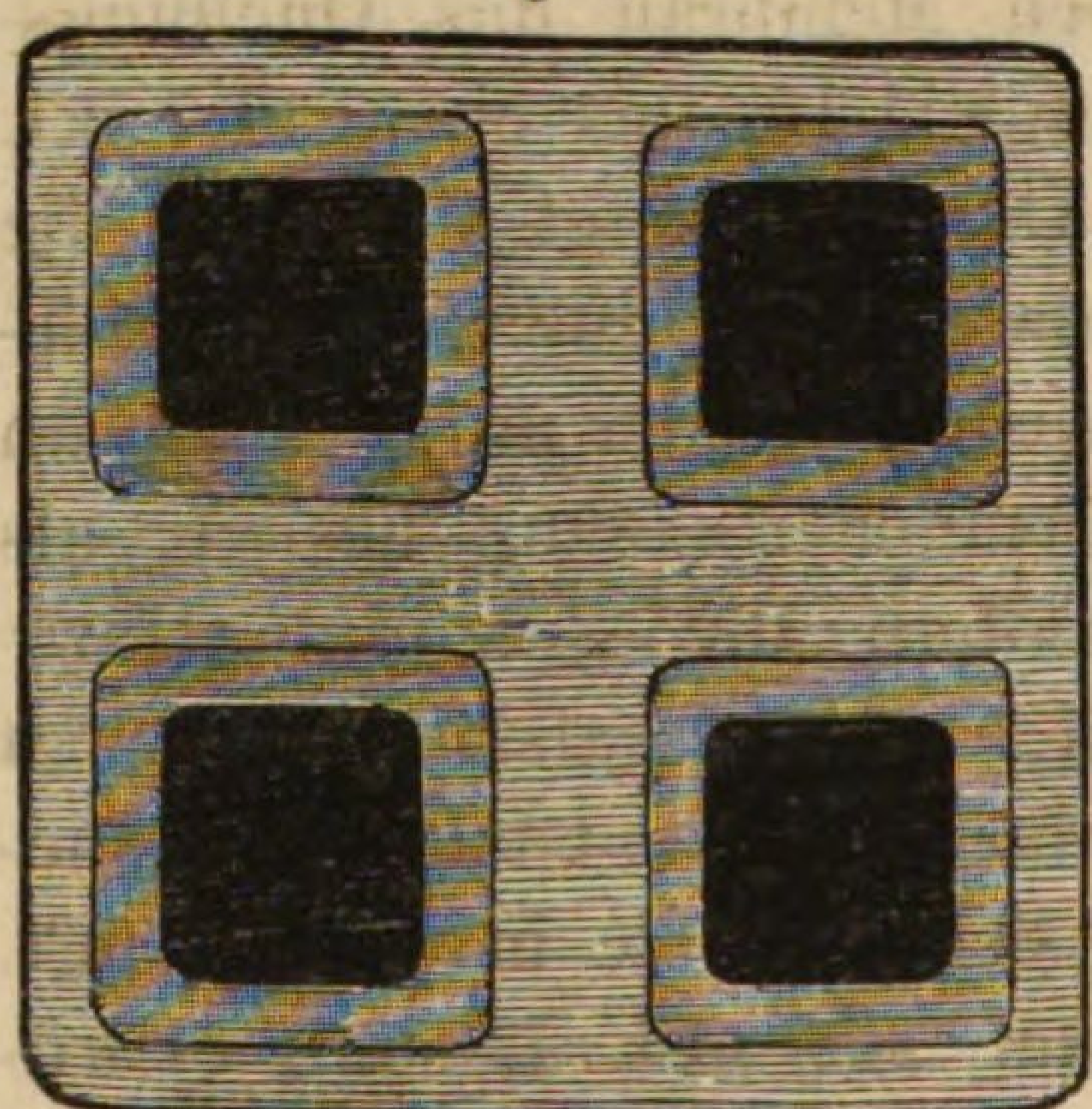
Diffusion von Lösungen und Lösungsgemengen in festen Stoffen. Die über diesen Punkt vorliegenden Untersuchungen beziehen sich nur auf wässerige Lösungen. Aus ihnen

ergibt sich, dass, alles Andere gleichgesetzt, die Quellungsmaxima sich ändern mit der Natur und dem Procentgehalt des gelösten Stoffes. Liebig ermittelte u. A., dass 100 Gewichtstheile trockener Harnblase vom Ochsen vom Wasser 310 Gewichtstheile, von einer 9 pCt. Kochsalzlösung nur 288, von einer 13,5 pCt. Kochsalzlösung 235 und endlich von einer 18 pCt. Lösung desselben Stoffes 219 Gewichtstheile aufnahmen; und Cloëtta fand, dass das Quellungsverhältniss (der Quotient aus dem Gewicht des festen Stoffes in das Gewicht der aufgenommenen Lösung) des trockenen und gereinigten Herzbeutels vom Ochsen für eine 5,4 pCt. Kochsalzlösung 1,35, für eine 24,3 pCt. Kochsalzlösung dagegen 1,01 betrug; und ebenso dass bei Anwendung derselben Membran das Quellungsverhältniss einer 5,5 pCt. Glaubersalzlösung 1,15, das einer 11,7 pCt. Lösung aber nur 0,86 ausmachte. — Daneben zeigt sich aber die noch bemerkenswerthere Erscheinung, dass wenn eine trockene thierische Membran in eine Salzlösung getaucht wird, der in die Membran aufgenommene Antheil eine andere Zusammensetzung besitzt, als der umspülende. So nahm unter Andern die gereinigte Harnblase des Ochsen, als sie in eine 7,2 Glaubersalzlösung gelegt wurde, eine Flüssigkeit auf, welche nur 4,4 pCt. Glaubersalz enthielt; dieselbe Membran durchtränkte sich, als sie in eine 19 pCt. Kochsalzlösung gelegt wurde, mit einer 16,5 pCt. Lösung (Ludwig). — Cloëtta, der diese Thatsachen weiter verfolgte, hat ermittelt, dass das Verhältniss der Dichtigkeit zwischen der in die Membran aufgenommenen und der sie umspülenden Lösung für NaCl ein constantes ist, für Glaubersalz dagegen ein mit dem Prozentgehalt der Lösungen an festen Stoffen wechselndes. So fand er u. A., dass, ob man die Membran in eine 24,2 pCt. oder 5,4 pCt. Kochsalzlösung legt, der Prozentgehalt der umspülenden Flüssigkeit zu dem der eingedrungenen sich verhielt wie 1 : 0,84 und 0,82; wendete er aber Glaubersalz als umspülende Flüssigkeit an, so verhielt sich bei einer 11,7 pCt. Lösung der Prozentgehalt der innern zur äussern Flüssigkeit wie 1 : zu 0,39, und bei einer 4,8 pCt. umspülenden Lösung war dasselbe Verhältniss wie 1 : 0,57.

Durch diese Thatsache wird eine neue Analogie hergestellt zwischen Lösung und Quellung; denn wie bei gleichzeitiger Lösung zweier Salze das Lösungsmaximum der Flüssigkeit für das eine derselben beschränkt werden kann, so wird auch hier durch die Verwandtschaft der thierischen Stoffe zu dem eingedrungenen Wasser die Fähigkeit desselben, Salze zu lösen, beeinträchtigt.

Ohne diese Thatsachen zu kennen, erschloss Brücke mit einem seltenen Scharfsinn aus den Erscheinungen, welche sich bei der Berührung von Flüssigkeiten mit festen Stoffen ereignen und aus denen der sogenannten Endosmose, ihr Vorhandensein und stellte noch die weitere Behauptung auf, es seien die in die Poren der Membranen aufgenommenen Lösungen so geordnet, dass in der unmittelbaren Nähe der festen Moleküle eine salzärmere Flüssigkeit und in der Mitte der Poren eine salzreichere Flüssigkeit gelegen sein möchte, in der Art, wie es das (Fig. 5) gegebene Schema ausdrückt, in welchem die dunklen Quadrate Molekeln oder Molekelmassen, die dunkleren Rahmen die salzarmen und die hellen Rahmen eine Flüssigkeit von der Zusammensetzung der die Gesammtmassen umspülenden darstellen. Der thatsächliche Beweis für diese Annahme ist dadurch geliefert worden, dass die durch Pressen aus der Membran erhaltene Flüssigkeit die Zusammensetzung der umspülenden besass (Ludwig). Dass diese Beobachtung in Wirklichkeit den verlangten Beweiss liefert, ist sogleich verständlich, wenn man erwägt, dass durch Pressung nur die Antheile der aufgenommenen Flüssigkeit entfernt werden können, welche nicht durch die sie unmittelbar berührenden Porenwandungen festgehalten werden; besitzt nun in der That die in der Membran vertheilte Flüssigkeit einen niedrigern Procentgehalt, als die umspülende, und ist man ferner, wie angegeben, im Stande durch Pressen eine Lösung von der Zusammensetzung der umspülenden zu gewinnen, so muss offenbar der geringere Procentgehalt der ganzen aufgenommenen Flüssigkeit der mittlere sein zwischen einer nicht auspressbaren von viel geringerem Salzgehalt und einer auspressbaren von gleichem Salzgehalt wie die umspülende.

Fig. 5.



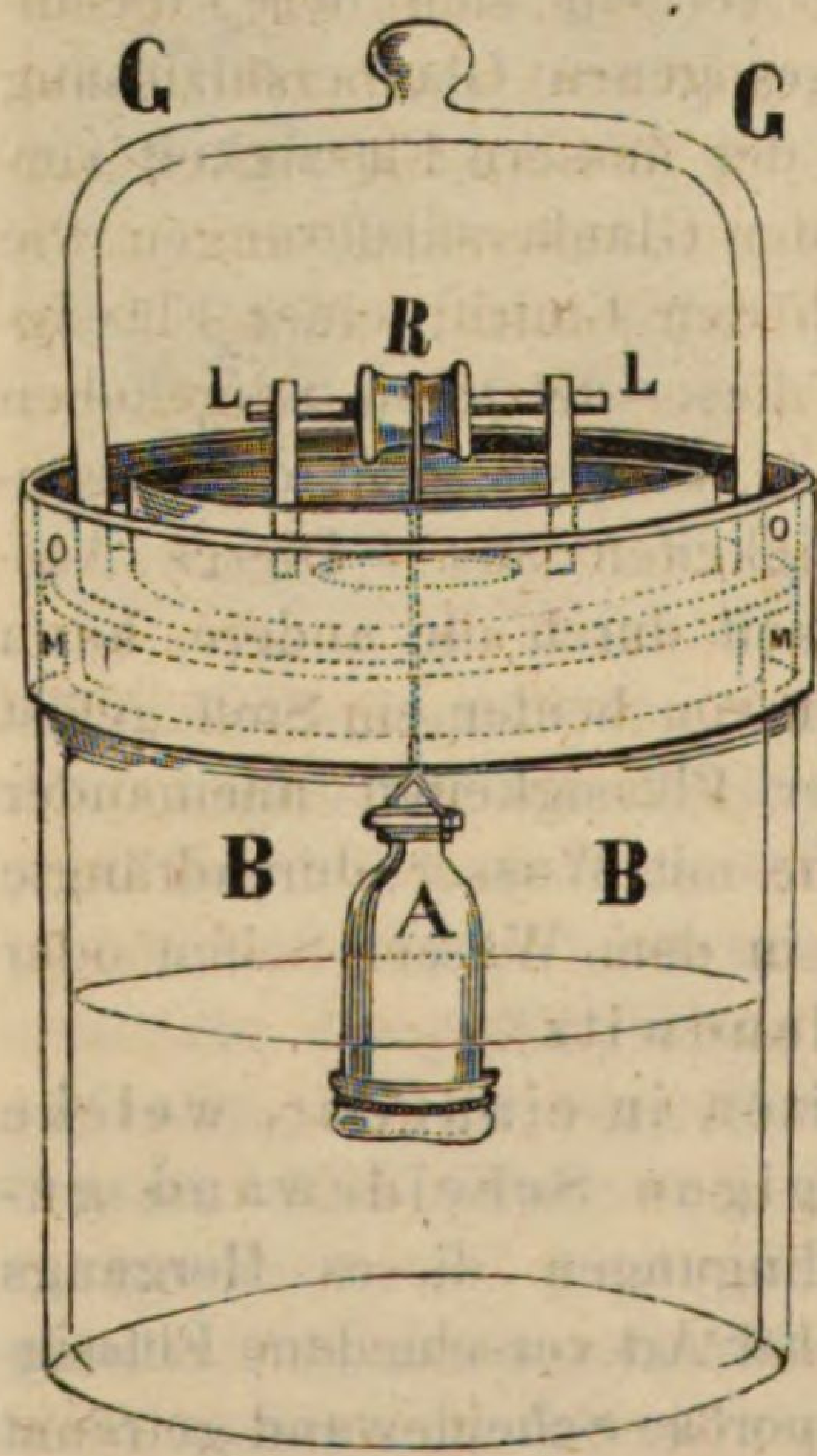
Diffundiren nun endlich gleichzeitig zwei Lösungen in eine Membran, so werden dadurch noch weitere Complicationen veranlasst werden, denn a) es werden durch die Verwandtschaften der Membranen, diejenigen der gelösten Stoffe zum Wasser in einer Weise beschränkt, welche nicht ableitbar ist aus dem bekannten Verhalten jeder Salzlösung für sich in der Membran. Den Unter-

suchungen von Cloëtta verdanken wir den bemerkenswerthen Aufschluss, dass wenn man Stücke des Herzbeutels in eine Lösung legt, welche zugleich Kochsalz und Glaubersalz aufgelöst enthält, das Glaubersalz in geringerer Menge von der Membran aufgenommen wird, als wenn es aus einer Lösung für sich eingedrungen wäre. Diese Erniedrigung des Glaubersalzgehaltes wächst mit der Menge des gleichzeitig in der Lösung vorhandenen Kochsalzes. Folgende Zahlen geben die Belege für diesen Ausspruch. Wenn die Membran von einer Lösung umspült wurde, welche 10,5 pCt. NaCl und 5,1 pCt. $NaOSO_3$ enthielt, so trat eine Flüssigkeit in dieselbe, welche 9,1 pCt. NaCl und 1,8 pCt. $NaOSO_3$ enthielt; aus einer Lösung, welche dagegen 5,3 pCt. NaCl und 4,7 pCt. $NaOSO_3$ enthielt, drang eine Flüssigkeit in dieselbe Membran, in welcher sich 4,3 pCt. NaCl und 2,2 pCt. $NaOSO_3$ befanden. Als demnach 10,5 pCt. NaCl in der äussern Flüssigkeit vorhanden waren, verhielt sich der Procentgehalt der umspülenden und der eingesogenen Glaubersalzlösung wie 1 : 0,35, und als 5,3 pCt. NaCl in der äussern Flüssigkeit vorkamen, verhielten sich die entsprechenden Glaubersalzlösungen wie 1 : 0,47. — b) Sehr häufig wird durch den Eintritt einer Flüssigkeit in eine Membran die Fähigkeit dieser letzteren aufgehoben gleichzeitig eine andere aufzunehmen; so schliesst u. A. die Gegenwart wässriger diejenige öliger Flüssigkeiten aus. Dieses Ausschliessungsvermögen der einen Flüssigkeit durch die andere, kann aber beseitigt werden, wenn in der einen von beiden ein Stoff gelöst wird, durch den die Adhäsion beider Flüssigkeiten aneinander ermöglicht ist. So dringt u. A. in eine mit Wasser durchdrängte Membran Oel ein, vorausgesetzt, dass in dem Wasser Seifen oder gallensaure Salze gelösst waren (Ochlenowitz).

4. Diffusion zweier Flüssigkeiten in einander, welche mittelst einer für sie durchgängigen Scheidewand getrennt sind. Endosmose. Die Bedingungen dieses Hergangs bestehen darin, dass zwei in irgend welcher Art verschiedene Flüssigkeiten durch eine (molekular oder grob) poröse Scheidewand getrennt sind, in welche eine oder beide Flüssigkeiten so eindringen können, dass sie sich innerhalb oder an der einen Grenze der Poren in unmittelbarer Berührung finden. Zugleich wird vorausgesetzt, dass eine etwa vorhandene Verschiedenheit des hydrostatischen Druckes, den die beiden Flüssigkeiten auf die Flächen der Scheidewand ausüben, nicht hinreicht, um bei dem Widerstand dieser letzteren als Bewegungsursache einer der beiden Flüssigkeiten angesehen werden

zu können. Die hervorragenden Erscheinungen, die unter diesen Umständen die Diffusion darbietet sind a) die beiden durch die Scheidewand getrennten Flüssigkeiten gleichen ihre Verschiedenheiten vollkommen aus, so dass, gerade wie wenn die Scheidewand fehlte, der Diffusionsprozess nicht eher beendigt ist, als bis die Flüssigkeiten beiderseits vollkommen einander gleich sind. — b) Die Volumina der durch den Diffussionsstrom auf die beiden Seiten der Scheidewand beförderten Flüssigkeiten sind einander meist nicht gleich, oder mit andern Worten, die Diffusionsströme überwiegen an Stärke in der einen Richtung diejenigen in der andern. — c) Die Geschwindigkeit, mit der zwei Flüssigkeiten durch die Scheidewand hindurch sich ausgleichen, ist eine andere, als ohne Gegenwart derselben. — Die zuerst erwähnte Eigenschaft bedarf keiner besonderen Betrachtung, um so mehr aber die unter b und c erwähnten Eigenthümlichkeiten.

Fig. 6.



Um ein Maass für den ungleichen Werth der verschieden gerichteten Ströme zu erlangen (b) bedient man sich nach dem Vorgang von Jolly, der Verhältnisszahl zwischen den Gewichten der nach der einen und der andern Seite übergegangenen Flüssigkeitsbestandtheile: diese Verhältnisszahl führt den Namen des endosmotischen Aequivalents.

Methode zur Bestimmung des endosmotischen Aequivalents. Der Apparat, mit dessen Hülfe diese Bestimmung vorgenommen wird, ist dargestellt durch zwei gläserne Gefässe, von denen das eine durch eine Membran, für eine Druckhöhe von mehreren Zoll wasserdicht verschlossen ist. Dieses letztere Gefäss, welches an der Stelle des Glasbodens eine Membran trägt, wird auf irgend welche Art in den Raum der andern jedoch so aufgehängt, dass es in diesem senkrecht auf und niedergelassen werden kann. Dieser Apparat muss zugleich noch so aufgestellt werden können, dass die in seinem Innern vorhandenen Flüssigkeiten vor Verdunstung bewahrt werden. Diese Bedingungen erfüllt die in Fig. 6 gezeichnete Vorrichtung. — *A* stellt das mit der Membran umbundene Gefäss vor; es ist mittelst eines Fadens an die Rolle *R* geheftet, welche sich mit dem Zapfen in den Lagern *L* dreht. Diese Lager stehen auf dem blechernen Deckel des äusseren Gefässes, welches mittelst der Rinne *mm* auf das Glas gekittet ist; auf der oberen Fläche dieses Deckels

findet sich noch eine zweite breitere Rinne *oo* angebracht, in welche die Glocke *G* einpasst. Wenn diese Rinne mit Wasser gefüllt wird, nachdem die Glocke aufgesetzt war, so sind die in *A* und *B* enthaltenen Flüssigkeiten abgesperrt. In das Innere beider Gefässe füllt man Flüssigkeit von bekanntem Gewicht und bekannter quantitativ und qualitativer Zusammensetzung; man überlässt sie darauf gegenseitiger Einwirkung, wobei man Sorge trägt, kleine Niveaudifferenzen im Stand der innern und äussern Flüssigkeit durch Herausheben oder Einsenken des Glases *A* auszugleichen, und bestimmt dann nach beliebiger Zeit, welche quantitative und qualitative Veränderungen die Flüssigkeit des innern Rohrs erlitten hat, wodurch auch die Data gegeben sind, um die Veränderungen der äussern Flüssigkeit zu berechnen. Hieraus fliesst von selbst, welche Stoffe von aussen nach innen, welche von innen nach aussen gingen und wie relativ kräftig diese Ströme gewesen waren.

Ein eigenthümlicher Fall der Endosmose, für dessen Bestehen leider nur Andeutungen vorliegen, tritt ein, wenn zwei Salzlösungen durch eine Membran getrennt werden, die nur von Wasser, nicht aber von den beiden Salzen durchsetzt werden kann. Die Ausgleichung zwischen den beiden Lösungen kann dann nur mittelst des Wassers geschehen, und der Strom wird voraussichtlich nur so lange dauern, bis die Kräfte, welche das Wasser auf der einen Seite zurückhalten, mit denen im Gleichgewicht stehen, welche es auf der entgegengesetzten binden. Vorausgesetzt, es seien die Verwandtschaften der Salztheile zum Wasser, welche die Bewegungen einleiten, so würde der Procentgehalt an Salz, der den Lösungen nach Beendigung des Stroms zukommt, den Maassstab abgeben für das Verhältniss der Verwandtschaft beider in Anwendung gebrachten Salze zum Wasser. Nach einer Angabe von Ad. Fick ist Hoffnung vorhanden, diese wichtige Aufklärung durch Anwendung von Collodiumhäute zu gewinnen.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass die Werthe der endosmotischen Aequivalente sich ändern mit dem Wechsel der Scheidewand (der chemischen und physikalischen Eigenthümlichkeit ihres Stoffes), mit quantitativen und qualitativen Veränderungen in der Zusammensetzung der Flüssigkeiten und mit der Temperatur.

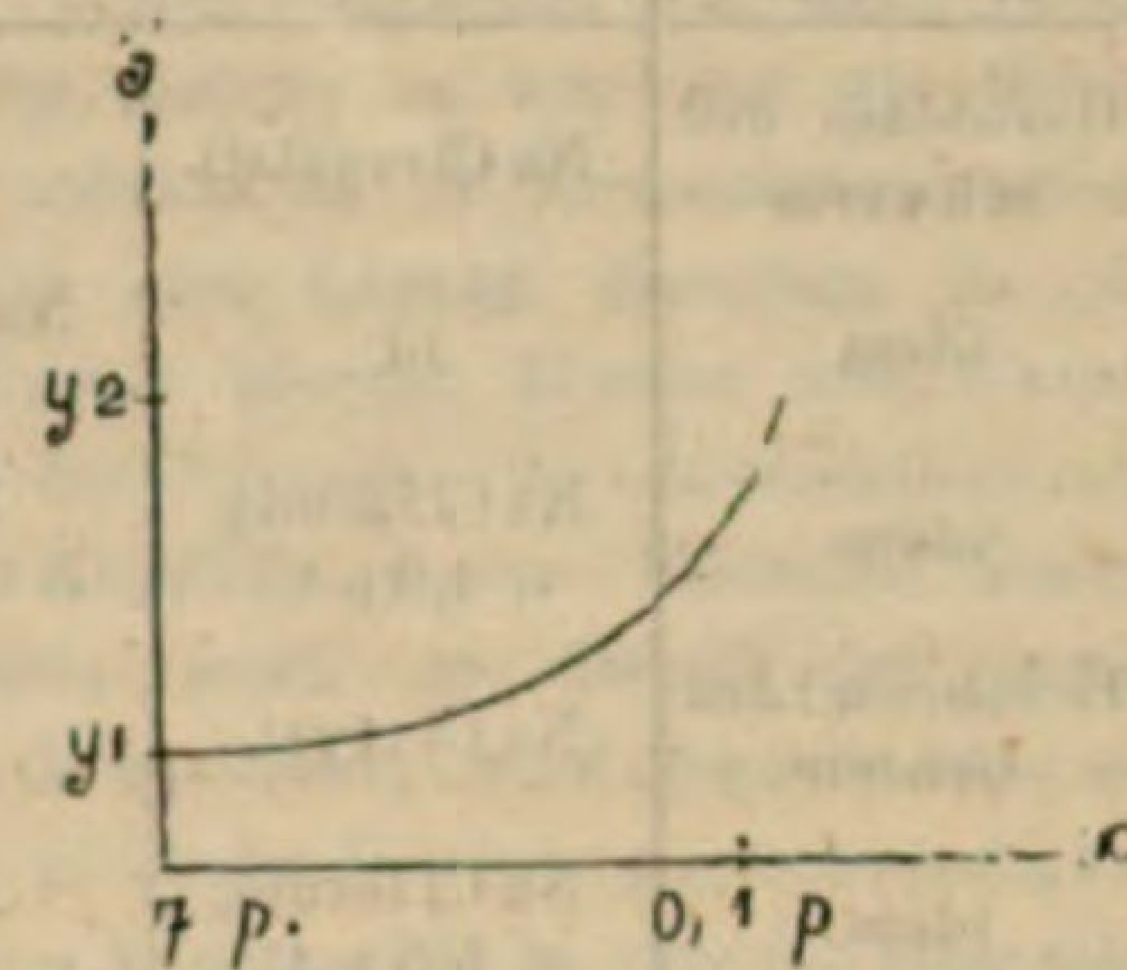
Bei so zahlreichen auf den Werth des Aequivalents influirenden Umständen gehört es begreiflich zu den Seltenheiten, das zwei der Diffusion ausgesetzte Lösungen während der ganzen Dauer derselben, mit dem gleichen Verhältniss ihrer Gewichtsmengen in einander strömen. — Dieses wird sich nur ereignen, wenn unter Voraussetzung derselben Scheidewand auch während der ganzen Strömungsdauer die Temperatur constant bleibt und zugleich die durch den Diffusionsstrom erzeugten Veränderungen in der Zusammensetzung beider Flüssigkeiten durch andere Einflüsse wieder ausgeglichen

werden. Wo dieses letztere geschehen ist, genügt, um eine Vorstellung über den Werth des Aequivalents zu gewinnen, die einfache Angabe der Verhältnisszahl; wo aber, wie es meist der Fall, diesen Bedingungen eines constanten Stromes nicht Genüge geleistet werden kann, muss zur Angabe des absoluten Werthes eines der partiellen endosmotischen Aequivalente*) noch die des den Wechsel bestimmenden Gesetzes kommen. Um vollkommen verständlich zu werden, wollen wir das Gesagte durch ein Beispiel erläutern. — In einer Versuchsreihe wurde als Scheidewand die mit Wasser, Aether und Alkohol gereinigte Harnblase des Schweines angewendet; als diffundirende Flüssigkeiten dienten Glaubersalzlösung und Wasser; das Wasser, welches sich im äussern Gefässe des Apparates (Fig. 6) befand, wurde so oft erneuert als nöthig, um niemals eine merkliche Spur von Glaubersalz sich in ihm anhäufen zu lassen. Es ergab sich, als in das innere Rohr Glaubersalzkrystalle gelegt wurden, und die Diffusion beendigt war, bevor sämmtliche Krystalle gelöst waren, das endosmotische Aequivalent = 5,8 (die übergetretenen Gewichtsmengen des Glaubersalzes = 1 gesetzt). In einem zweiten Versuch wurden Glaubersalzkrystalle in die Röhre gelegt und die Diffusion unterbrochen, als die in der inneren Röhre enthaltene Lösung 3,8 pCt. betrug; das endosmotische Aequivalent wurde zu 6,7 gefunden. Bei einem dritten Versuch mit derselben Membran wurde in das innere Rohr eine 5,1 pCt. $NaO\,SO_3$ Lösung gefüllt, und die Diffusion unterbrochen, als der Procentgehalt der Lösung auf 0,17 gesunken war, das Aequivalent fand man = 10,5. Viertens wurde in das eine Rohr eine 1,0 pCt. Glaubersalzlösung gefüllt und der Diffusion überlassen bis sie auf eine 0,1 procentige gesunken war, das E. Ae. betrug unter diesen Umständen 21,6. — Aus diesen Beobachtungen lässt sich nach bekannten Regeln annähernd berechnen, welchen Werth in jedem Momente das Aequivalent besass, als die Dichtigkeit der Lösung von ihrem bei der Beobachtungstemperatur möglichen Maximum bis auf 0,1 pCt. herabfiel. Construirt man diese Werthe auf ein Ordinatensystem, auf dessen x Achse nach einer beliebigen Längeneinheit die fortlaufenden Procentgehalte, und auf dessen y Achse die fortlaufend sich verändernden Aequivalente aufgetragen sind, so erhält man die Curve des Aequivalents, bezogen auf den Wechsel der Dichtigkeiten. Für die oben gegebenen Beobachtungen würde ihre

*) d. h. des Werthes, welchen das Aeq. besitzt, so lange noch keine merkliche Veränderung in den dasselbe bedingenden Umständen eingetreten.

Gestalt annähernd wie in Figur 7 ausgefallen sein, vorausgesetzt, dass vom *O* Punkt der Ordinaten auf *x* das Maximum der Dichtigkeit aufgetragen worden wäre. Setzen wir voraus, dieses Dichtigkeitsmaximum habe 7 p. C. betragen, so würde y^1 das erste Partialaequivalent und y^2 das letzte Partialaequivalent gewesen sein, zwischen denen unendlich viele in der Mitte liegen. Kann nun aber, wie dies leider meist der Fall ist, auch das Gesetz dieses Wechsels nicht angegeben werden, sondern nur die Zahl für das endosmotische Aequivalent, welche hier die mittlere ist zwischen ihren verschiedenen Werthen, so muss, wenn diese Angabe eines mittlern Aequivalents vergleichbar mit andern sein soll, mindestens der Zusatz geschehen, zwischen welchen Grenzen der Dichtigkeit, Temperatur u. s. w. sich die Beobachtung bewegte.

Fig. 7.



Von den wichtigern das endosmotische Aequivalent betreffenden Thatsachen sind nun nachfolgende vorzuführen:

1. Unter gleichen Umständen sind die mittlern Aequivalente bei Anwendung verschiedener Häute, wie des Herzbeutels und der Harnblase, nicht gar zu abweichend von einander gefunden worden; wir fügen einige derselben bei. Die nachstehenden Thatsachen, welche Harzer*) erworben hat, können dazu dienen, um eine Vorstellung über das Verhältniss des endosmotischen Aequivalents einiger wichtigen Stoffe zu erhalten. — Sie sind so gewonnen, dass immer ein und dieselbe Menge des löslichen Stoffes durch ein und dieselbe Haut diffundirte; die Zahlen beziehen sich auf die wasserfreien Salze.

$NaO\,CO_2$	32,788	$NaO\,SO_3$	8,866	NaCl	3,710
$2\,NaO\,PhO_5$	27,915	CaCl	5,889	Harnstoff	1,551
$KO\,CO_2$	19,531	KaCl	3,891	Weinsäure	2,915.

2. Wie sich aber der umstehenden Tabelle gemäss mit dem Procentgehalt der dem Wasser gegenüber gesetzten Salzlösung das Aequivalent ändert, so ist es auch für denselben Stoff einer Aenderung unterworfen, wenn statt der des Wassers ihm selbst eine Salzlösung gegenüber gesetzt wird. Siehe hierüber das Nähere bei Ludwig und Cloëtta.

3. Nach Beobachtungen von Matteucci und Cima sollen die möglichst frischen thierischen Häute bei Anwendung gleicher Flüssigkeiten ein anderes Aequivalent erwirken, als die, welche aus schon längere Zeit verstorbenen Thieren genommen sind; — zudem soll noch das Aequivalent für dieselbe Membran wechseln, je nachdem man die eine oder andere Seite dem Wasser oder der Salzlösung gegenüber setzt. Diese Thatsachenreihe wird noch bezweifelt. S. Berliner physik. Jahresbericht für 1845 l. c.

*) Meissner's Bericht über die Fortschritte in etc. 1856. p. 149

Scheidewand.	Diffundirende Stoffe. Einerseits zu Beginn der Diffusion.	Einerseits zu Ende der Diffusion.	Anderseits zu allen Zeiten der Diffusion.	Endosm. Aequiv.	Beob.
Harnblase des Schweins	Na Cl crystall	Wasser	Wasser	4,0	Jolly
idem	id.	Na Cl lösung v. 10,06 p.C.	idem	4,3	Ludwig
idem	Na Cl lösung v. 4,9 p.C.	Lösung v. 0,275 p.C.	idem	1,4	—
Herzbeutel des Ochsen	Na Cl cryst.	Lösung v. 1,55 p.C.	idem	5,4	Cloëtta
idem	Na Cl lösung v. 5,5 p.C.	Lösung v. 0,36 p.C.	idem	3,6	—
idem	$NaO\ SO_3$ crystall	Lösung v. 1,6 p.C.	idem	9,8	—
idem	$NaO\ SO_3$ lösg. v. 1,1 p.C.	Lösung v. 0,28 p.C.	idem	7,5	—
Harnblase des Schweins	$NaO\ SO_3$ crystall	Wasser	idem	11,0	Jolly
idem	$KaO\ SO_3$ crystall	idem	idem	12,7	—
idem	KaO HO lösg. v. 5,2 p.C.	idem	idem	200,0	—
idem	$SO_3\ HO$ lösg. v. 3,1 p.C.	idem	idem	0,39	—
idem	Zuckerlösung v. 4,1 p.C.	idem	idem	7,2	—
idem	Alkohollösg. v. 4,0 p.C.	idem	idem	4,1	—

4. Cloëtta hat in einer sehr genau geführten Versuchsreihe ermittelt, dass die Diffusion zweier chemisch sich nicht zersetzender Salze, z. B. Na Cl und $Na\ O\ SO_3$, sich nicht störe, wenn sie aus einer und derselben Flüssigkeit geschehen, so dass das Aequivualent eines Salzgemenges aus dem bekannten Aequivalente der in ihm vorhandenen Salze berechnet werden kann.

5. Nach Ad. Fick*) wird das endosmotische Aequivalent des Na Cl grösser, wenn das Salz aufsteigend (der Schwere entgegen) durch die Membran geht, und umgekehrt kleiner, wenn es mit der Schwere ging; demnach geht also relativ zum Wasser mehr Na Cl über, wenn sein Strom der Schwerkraft entgegen läuft. Diese Erscheinung hängt sonderbarer Weise davon ab, dass in diesem Fall, alles Andere gleichgesetzt, in der Zeiteinheit absolut mehr Na Cl durch die Membran wandert, als im umgekehrten.

6. Ueber die Diffusion des unverdünnten oder verdünnten Hühnereiweisses in Wasser und Salzlösungen durch das Schalen- und Amnioshäutchen hat Wittich Versuche angestellt. Das Schalenhäutchen besitzt bekanntlich mikroskopisch nachweiss-

*) Poggendorf's Annalen 92. Bd. 333.

bare Poren (Wittich), die sich nach den von H. Meckel zuerst angestellten Filtrationsbeobachtungen verhalten, als ob sie mit Röhrenventilen versehen wären; denn eine Flüssigkeit geht leicht durch diese Haut hindurch, wenn sie von der Schalen- zur Eiweissseite hin gepresst wird, während sie durch die sichtbaren Poren sich langsam oder gar nicht bewegt, wenn der Druck von der Eiweiss- zur Schalenseite gerichtet ist. Wittich stellte in seinen Versuchen die Haut immer so, dass ein grösserer Druck auf der innern Seite lastete; es war also die Filtration möglichst ausgeschlossen. — Das Eiweiss, welches er in Anwendung brachte, war entweder reines flüssiges Hühnereiweiss oder eine Lösung desselben in viel Wasser. Die Diffusion geschah zwischen beschränkten Mengen Eiweiss und Wasser, resp. Salzlösung, sodass sich während der Dauer der Versuche die Zusammensetzung beider Flüssigkeiten änderte. Die wichtigsten Resultate dieser Versuche waren: a. die Geschwindigkeit des Eiweissstromes wächst, wenn der Gehalt der gegenübergestellten Lösung an $NaCl$ von 0 bis zu 3 p. C. zunimmt; wird dagegen eine gesättigte $NaCl$-Lösung dem Eiweiss gegenübergesetzt, so ist die Uebergangsgeschwindigkeit geringer, als bei Anwesenheit einer Lösung von 3 p. C. — Ebenso geht in eine 0,3 prozentige Lösung von $NaOCO_2$ das Eiweiss rascher über, als in destillirtes Wasser. — b. Wenn einer bestimmten Menge constant zusammengesetzter Eiweisslösung grössere Mengen Wasser gegenübergesetzt wurden, so traten in dasselbe in der Zeit- und auf der Flächeneinheit weniger Eiweisstheile über, als wenn geringere Mengen von Wasser in dem Diffusionsraum dieses letztern enthalten waren. Dieses erklärt sich dem Vorigen entsprechend daraus, dass im erstern Fall die dem Eiweiss gegenübergesetzten grösseren Wassermengen während der ganzen Versuchsdauer salzärmer waren, als die kleinern im letzten Fall, da sich die der natürlichen Eiweisslösung zukommende Salzmenge auf das grössere Wassergewicht vertheilen musste; auch ist in Betracht zu ziehen, dass destillirtes oder sehr salzarmes Wasser das Eiweiss theilweise niederschlägt. — c. Das cohärente, unverdünnte Eiweiss diffundirt nicht langsamer, als das verdünnte.

Zur Theorie des endosmotischen Aequivalents. Die Erscheinung, dass die endosmotische Strömung nach der einen Seite hin mehr Flüssigkeit befördert, als nach der andern, erklärt man gewöhnlich folgendermaassen: Wenn sich zwei Flüssigkeiten, die ineinander diffundiren, ohne Scheidewand berühren, so müssen die zwischen beiden ausgetauschten Volumina gleich gross sein, da die Anziehungen, welche den wechselseitigen Strom beschleunigen, gegenseitige sind, also auf beide Flüssigkeiten mit gleicher Kraft wirken. Werden nun, wie dieses bei der Endosmose der Fall, die ausgetauschten Volumina ungleich gross, so kann der Grund hierfür nur in dem ungleichen Widerstand liegen, den die Scheidewand den beiden Strömungen bietet; bestätigt wird diese Unterstellung durch die Thatsache, dass die scheidende Haut aus der Salzlösung relativ weniger Salz als Wasser aufnimmt, was im Sinn des Strömungshergangs aufgefasst, sagen will, der Querschnitt der Wasserstromes ist in der Haut grösser, als der des Salzstromes; setzt man nun, wie oben geschehen, in beiden Strömen gleiche Geschwindigkeit voraus, so muss durch den Strom des Wassers in dem Grade mehr Masse befördert werden, als er den des Salzes an Querschnitt übertrifft.

Diese Erklärung macht, wie es scheint, einige willkührliche Voraussetzungen. Zuerst setzt sie unbewiessener Weise den Grund der Vermischung allein in die Anziehung zwischen Salz und Wasser. Diese Annahme erscheint jedoch sehr problematisch, wenn man bedenkt, dass bei vielen Diffusionen Wärme gebunden werden muss, um die Vertheilung des Salzes im Wasser zu ermöglichen, eine Thatsache, die offenbar

auch die Auffassung erlaubt, dass das Salz in Folge der aufgenommenen Wärme ein Ausdehnungsbestreben empfängt und darum sich in dem Wasser vertheilt. Die Berührung des Salzes mit dem Wasser wird demnach nur insofern von Bedeutung sein, als damit ein Mechanismus gegeben ist, durch welchen eine Bewegungsursache zwischen den Salzatomen eingeführt wird. Findet aber, was freilich noch unbeweissbar ist, ein solcher Vorgang statt, so kann die Kraft, welche das Wasser in das Salz treibt, von einem durchaus andern Werth sein, als die, welche das Salz in das Wasser führt. Gesetzt aber, es sei der Werth der Triebkräfte für beide Stoffe gleich, so müsste, wenn dadurch gleichviel Masse aus dem einen in den andern gefördert werden sollte, auch der Widerstand gleich sein, welcher sich der Auseinanderzerrung der gleichartigen und der Verschiebung der ungleichartigen Atome entgegenstellt; eine Unterstellung, die allerdings möglicher Weise bejahend beantwortet werden kann, aber immerhin hat dieses die Beobachtung nicht gethan. Gesetzt, es sei geschehen, so würde auch dies nur zu der Folgerung führen, dass die Zahl der durch die beiden Ströme geführten Masseneinheiten gleich gross wäre, nicht aber dazu, dass gleiche Volumina überströmten, weil die Masse der Volumeinheit in beiden Stoffen ungleich gross ist. Es müssten dann offenbar, wie bei der Gasdiffusion, die ausgetauschten Volumina sich verhalten wie die Wurzeln aus den Dichtigkeiten. Aus dieser Betrachtung geht zum mindesten hervor, dass die aufgeführte Theorie nicht sämmtlich in Frage kommende Elemente berücksichtigt.

Der Zeitraum, welcher nothwendig, damit zwei durch eine Scheidewand getrennte Flüssigkeiten ihre chemischen Differenzen ausgleichen, ist im Allgemeinen grösser, als wenn eine solche fehlt. Die Richtigkeit dieser Behauptung ist ohne Weiteres klar, indem die Ströme in so engen Poren offenbar Widerstände erfahren, die ohne jene nicht vorhanden sind. In diesem Sinne kann auch noch zugefügt werden, dass, alles Andere gleichgesetzt, die Ausgleichungszeit der Lösungsunterschiede mit der Dicke der Membran, resp. der Länge der Poren, wächst. — Ausser diesen selbstverständlichen Dingen ist aber noch weiter zu bemerken, 1) die Ausgleichungsdauer ist abhängig von dem Werthe des endosmotischen Aequivalents (Jolly). Der innige Zusammenhang, der zwischen der Ausgleichungsdauer und dem endosmotischen Aequivalent besteht, leuchtet ein, wenn man bedenkt, dass dieses letztere nichts anderes ist, als ein Ausdruck für die überwiegende Richtung des einen Stroms, und weiter, dass die Ausgleichung niemals durch den einseitigen, sondern immer nur durch den doppelseitigen Strom geschehen kann. Ist also das endosmotische Aequivalent ein grosses, d. h. geht der Strom überwiegend einseitig, so wird wohl, alles andere gleichgesetzt, die Flüssigkeit, in welche diese Strömung geschieht, durch die andere stark verdünnt werden, aber die Ausgleichung dennoch sehr langsam geschehen. — 2) Die in gleicher Zeit sich gegenseitig austauschenden Flüssigkeitsmengen sind, alles Andere gleichgesetzt, um so beträchtlicher, je grösser die chemische Differenz

ber beiden einander entgegenstehenden Flüssigkeiten ist. Demgemäss wird, z. B. bei einer Entgegensetzung von Wasser und Lösungen, die Stärke der Ströme wachsen mit dem Gehalt dieser letztern an festen Stoffen (Vierordt). Keinenfalls aber kann dieses Wachsthum beider Erscheinungen ein direkt proportionales sein, und zwar darum nicht, weil das endosmotische Aequivalent mit der Conzentration selbst wechselt. — 3) Die einzelnen in einem Lösungsgemenge enthaltenen Salze gleichen sich, wenn sie reinem Wasser gegenübergesetzt werden, mit diesem in annähernd derselben Zeit aus, als wenn jedes einzelne für sich unter sonst gleichen Umständen dem Diffusionsstrome ausgesetzt gewesen wäre; die Ausgleichungsdauer des langsamer diffundirenden Salzes scheint im Gemenge jedoch um etwas vergrössert zu werden (Cloetta).

Die Bedeutung der unter dem Namen Diffusion zusammengefassten Phänome ist für den Lebensvorgang eine sehr verschiedenwerthige. — Unter den Gasdiffusionen scheinen von besonderer Wichtigkeit nur der Austausch der Gase durch feuchte Scheidewände und die Absorption zu sein; denn nur für diese Vorgänge finden sich die Bedingungen vorzugsweise im Thierkörper verwirklicht; auf ihnen ruht namentlich die Funktion der Athmung. In dieser Beschränkung wirken aber die Gasdiffusionen ausserordentlich eingreifend, weil eines der wesentlichsten und zugleich das in grösster Menge genossene Nahrungsmittel gasförmiger Sauerstoff ist, und der thierische Körper durch den Lebensprozess seine kohlenstoff- und wasserstoffhaltige Flüssigkeit zum grössten Theil in gasförmige Kohlensäure und Wasserdampf auflöst. Hierbei spielt die besondere Art von Diffusion, welche als Verdunstung bezeichnet wird, eine wichtige Rolle. — Unter den verschiedenen Hydrodiffusionen erlangen im Thierleib eine vorwiegende Geltung die Lösung, die Quellung und die Endosmose. Denn die Flüssigkeiten, die sich ohne Scheidewand berühren, mischen sich wohl schwerlich durch einfache Diffusion, sondern vielmehr mittelst der Erschütterungen, denen alle thierische Theile fortwährend ausgesetzt sind. Die Bedeutung der Lösung erhellt dagegen sogleich, wenn man erwägt, dass wir stets feste Massen geniessen, dass diese in Blut, also in eine Flüssigkeit umgewandelt werden, und dass sie aus diesem sich wieder fest niederschlagen, um die sogenannten Gewebe zu bilden; diese Gewebe werden aber schliesslich wieder in Harn, Schweiss, Lungen- und Hautdunst verwandelt, was wiederum nur durch einen Lösungsprozess geschehen kann. Die Quellung und

die Endosmose sind aber nicht minder allgemeine Vorgänge als diejenigen der Lösung; denn mit ganz untergeordneter Ausnahme verharren alle festen thierischen Theile während der ganzen Dauer ihres Bestehens in gequollenem Zustand, und in diesem gequollenen Zustand dienen sie als Scheidewände zur Trennung der verschiedenartigsten Flüssigkeiten. So wurde es möglich, im thierischen Körper ein Röhrensystem darzustellen, in welchem eine Flüssigkeit kreist, die, trotzdem dass sie einen beträchtlichen Druck gegen die Wandungen von innen nach aussen übt, dennoch unter Umständen mehr von einer das Röhrensystem umspülenden Flüssigkeit aufnimmt, als sie in letztere ausströmt. Hierdurch wurde es ferner möglich, aus ein und demselben Lösungsgemenge bald diesen und bald jenen gelösten Stoff mit Ausschliessung aller übrigen austreten zu lassen, ohne Anwendung anderer Hilfsmittel als der Gegenwart verschiedentlich quellungsfähiger Scheidewände, indem diese bald dem einen und bald dem andern der gelösten Stoffe den Durchtritt durch sich erlauben oder verwehren. Offenbar liegt also in dieser wichtigen Einrichtung theilweise der Schlüssel zur Erklärung der verschiedenartigsten Ausscheidungen aus dem überall nahezu gleichartigen Blute. Bei dieser hohen Bedeutung der Hydrodiffusion ist es um so mehr zu bedauern, dass gerade die dem Leben wichtigsten Flüssigkeiten und Membranen noch nicht auf ihre Diffusionseigenschaften untersucht sind.

Dritter Abschnitt.

Physiologie des Nervensystems.

I. Allgemeine Nervenphysiologie.

A. Physiologie der Nervenröhren.

Anatomische Beschaffenheit*). Die frische Nervenröhre erscheint optisch vollkommen gleichartig; durch physikalische und chemische Hilfsmittel gelingt aber die Zerlegung derselben in verschiedene Formbestandtheile. Mit Rücksicht auf die bei diesen Zerlegungen hervortretenden Formen theilt man die Nervenröhren in markhaltige und marklose. Die erstern erscheinen zusammengesetzt aus einer sehr zarten Röhrenwandung (Scheide), einem flüssigen, der Scheide unmittelbar anliegenden Mark und einem in diese letzte eingebetteten bandartigen Streifen (Achsenfaser). Die letztern zerfallen dagegen nur in eine Scheide, welche zuweilen mit Kernen besetzt ist, und in Achsenfasern, so dass ihnen, zum Unterschied von den vorigen, das Mark fehlt.

Ob die erwähnten Formbestandtheile dem Nerven auch im unverletzten Zustand eigen sind, und namentlich ob die markhaltige Nervenröhre auch lebend nur aus Scheide und Mark, oder aus Scheide, Mark und Achsenfaser besteht, wird natürlich entschieden sein, wenn man die Achsenfaser im lebenden Nerven sichtbar gemacht hat. Ohne dieses kann man dieselbe immer als ein (das Absterben des Nerven bedingendes) Gerinnungsprodukt ansehen, das seine regelmässige Form der Röhre, innerhalb deren es gerinnt, verdankt. — Würde sich die Anwesenheit der Achsenfaser im lebenden Nerven nicht bestätigen, so würden wahrscheinlich auch die Unterschiede der marklosen und markhaltigen Röhre wieder aufgegeben oder die Unterscheidung wenigstens anders ausgesprochen werden müssen, indem man dann auch während des Lebens in dem marklosen Nervenrohr einen flüssigen Inhalt anzunehmen gezwungen wäre. Das Fehlen oder Vorhandensein des Marks bezieht sich entweder auf den ganzen Verlauf einer Röhre oder nur auf Stücke derselben, indem in ein und derselben Röhre markhaltige Stellen mit marklosen abwechseln; so verliert u. A. zuweilen das sogenannte centrale

*) Kölliker, Mikroskopische Anatomie II. Bd. p. 391 u. f.

oder auch das periphere Ende das Mark. — Stilling*) beschreibt eine noch verwickeltere Structur des Nerven nach Präparaten, die in Chromsäure gehärtet waren. Die Achsenfaser soll aus drei conzentrischen Schichten bestehen, und sie selbst sowohl wie das Mark und die äussere Scheide soll von einem äusserst feinen engmaschigen Netz durchzogen sein, das die Primitivscheide durchbrechend sich von einem zum andern Primitivrohr erstreckt.

Neben dem so eben geschilderten, als dunkelrandige Nervenröhre bezeichneten Nervenelemente tritt noch ein zweites auf, die sogenannte gangliöse Nervenfaser, welche bald nur an einzelnen Orten eines bestimmten Nervens, z. B. an der Ausbreitung der Sehnerven (H. Müller), oder als ein besonderer Ausläufer von Ganglienkörpern, welche auch dunkelrandige Röhren aussenden, oder auch selbständig vorkommt. Es zeichnet sich aus durch seine ausserordentlich geringen Durchmesser, und durch die Einlagerung von Körnern, in welche die feine Faser ebenso eingeht, wie die dunkelrandige in die Ganglienkörper. An den Orten, wo sie der anatomischen Zergliederung zugänglicher sind, sollen sie nach Remack**) bestehen aus einer Scheide, die sich unmittelbar an die gewöhnlich variköse Achsenfaser anschliesst. Sie würden demnach den marklosen Nervenröhren zunächst stehen.

Chemische Beschaffenheit***). Die chemische Substanz der Scheide soll elastischer Stoff sein (Mulder), man schliesst das aus ihrem Verhalten gegen Kalien und Säuren; der Achsencylinder soll aus einem eiweissartigen Stoff bestehen (Kölliker), und ebenso enthält das Mark eiweisshaltige Stoffe in Lösung (Lehmann). Ausserdem hat man aus den Hirn- und Nervenmassen gewonnen: Olein, Olephosphorsäure, Oelsäure; Margarinsäure, Cerebrinsäure, Cholestearin (Fremy, Bibra), Glycerinphosphorsäure (Gobley), Harnsäure, Kreatin (wenig), Leucin (?), Inosit (W. Müller), Milchsäure (Bibra), flüchtige Fettsäure (in geringer Menge). — Ueber die besondere Lagerung dieser Fette und ihr Verhalten zu den übrigen Bestandtheilen des Nerveninhalts ist nichts bekannt.

Leistungen des Nervenrohrs. Ein Gebilde, das wie das vorliegende in Form und Atomistik verwickelt ist, wird zu zahllosen Leistungen befähigt sein, sei es, dass man es sich selbst überlässt, oder dass man es in Umstände führt, in denen es einen Eingriff in das Bereich der in ihm vorgehenden Anziehungen erfährt;

*) Compt. rend. XLI. p. 827.

**) Berliner Monatsberichte. Mai 1853.

***) Lehmann's physiologische Chemie III. 114. — v. Bibra, Vergleichende Untersuchungen über das Gehirn des Menschen. Mannh. 1854. — W. Müller, über d. chemischen Bestandtheile des Gehirns. Erlangen 1855.

zu Leistungen, deren Folgen sich entweder innerhalb des Gebildes beschränken, oder sich jenseits seiner Grenzen erstrecken. Von dieser unendlichen Schaar möglicher Kraftäusserungen sind bis dahin aus leicht begreiflichen Gründen nur wenige ein Gegenstand der Aufmerksamkeit gewesen. Zuerst hat sich dieselbe vorzugsweise nur den Erscheinungen zugewendet, welche der Nerv veranlassen kann in einigen Organen, mit welchen er innerhalb des fertigen und lebenden Thierkörpern in normaler Verbindung steht, namentlich mit den Veränderungen, welche er in den empfindlichen Provinzen des Hirns, in den Muskeln und Drüsen herbeiführt, indem er die Acte der Empfindung, Bewegung und Absonderung anregt. Diese Aeusserungen unseres Gebildes führen von Alters her den Namen physiologischer Nervenfunctionen. Neben diesen hat die neueste Zeit noch die Reihe von Aeusserungen der Nerventhätigkeit in genauere Betrachtung gezogen, welche sie auf eine unter besondern Umständen aufgehängte Magnetnadel zu üben vermag. Wir wenden uns nun zunächst zur Betrachtung dieser letzteren, den electrischen Leistungen oder Eigenschaften des Nerven, theils weil sie schärfer greifbar sind, theils weil sie uns einen tieferen Blick als alle übrigen in die innern Verhältnisse des Nervenrohrs erlauben, und endlich weil sie uns die Betrachtung der physiologischen Eigenschaften sehr erleichtern, da beide Erscheinungsreihen, so weit wir wissen, einander durchaus parallel gehen, wie sich von vornherein sogleich dadurch ankündigt, dass beide nur dem lebenden Nerv eigen sind.

Electromotorische Eigenschaften. Die zahlreichen und wichtigen Aufschlüsse, die wir in diesem Gebiete erhalten haben, verdanken wir einzig und allein du Bois-Reymond, der seine Beobachtungen und Schlüsse in einem Werke *) niedergelegt hat, das durch Tiefe und Reichthum des Gedankens und durch Umfang der Bemühungen in der physiologischen Literatur den ersten Rang einnehmen dürfte.

1. Hilfsmittel der Untersuchung. Zur Erforschung der electromotorischen Eigenschaften des Nervenrohrs bedient man sich des electrischen Multiplikators und des stromprüfenden Froschschenkels. Der Multiplikator gewährt den Vortheil, die Gegenwart sehr schwacher electrischer Ströme nachzuweisen, sichern Aufschluss über die Richtung derselben und unter Umständen über die Veränderlichkeit ihrer Stärke zu geben. Ist der Multiplikator graduirt, so kann durch ihn auch ein absolutes Maass der durch seine Drähte strömenden

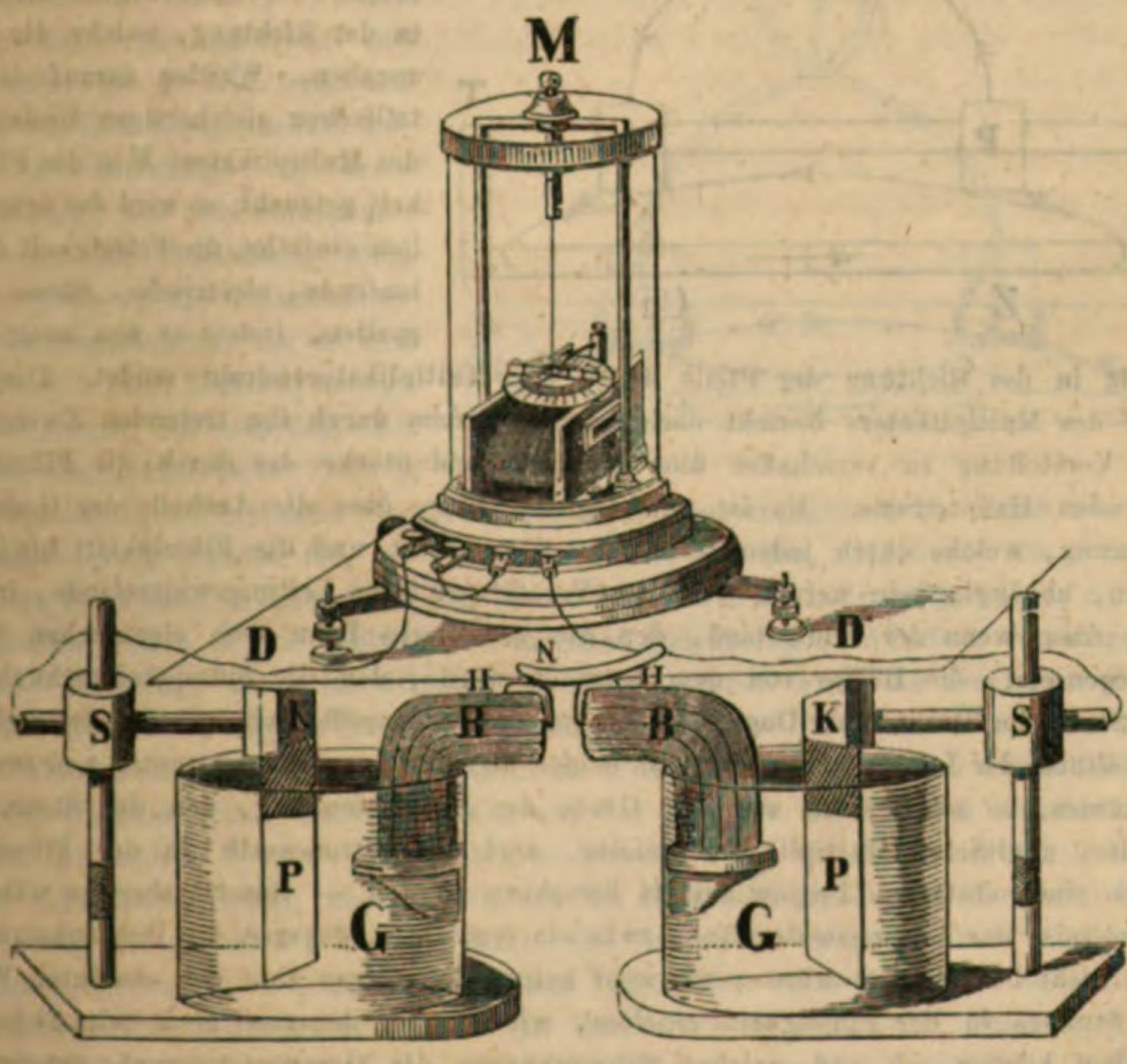
*) Untersuchungen über thierische Electricität I. u. II. Bds. 1. Abth. Berlin 1848 u. 1849.

Electricitätsmengen erhalten werden. Der Froschschenkel ist nun zwar wegen wechselnder Erregbarkeit von nicht so sicherer Feinheit als der Multiplikator, er zeigt ferner nur Veränderungen in den Intensitäten des Stroms, aber keine mit gleicher Intensität anhaltende Ströme an, er ist endlich nur selten brauchbar um die Stromesrichtung anzugeben, aber dennoch ist er von unschätzbarem Werthe, weil er vermöge der Leichtigkeit, mit der er, im Gegensatz zur trägen Multiplikatornadel, den electrischen Anregungen Folge leistet, noch die Gegenwart sehr kurz dauernder oder ausserordentlich rasche Veränderungen länger dauernder Ströme angibt.

Um die Fehler, welche der Multiplikator einführen kann, zu vermeiden, und alle Vortheile, die er zu bieten vermag, zu geniessen, muss 1) der Multiplikator möglichst empfindlich gemacht werden. Dieses geschieht theils durch Anwendung möglichst vollkommener astatischer Nadeln, theils durch die beträchtliche Zahl von Drahtwindungen, die um die Nadel gelegt werden. Du Bois verlangt für Untersuchung der Nervenelectrizität wenigstens 11000 Umgänge eines feinen, möglichst eisenfreien Kupferdrahtes. Die Länge des sehr feinen Drahtes kann am Multiplikator für thierisch electrische Zwecke so beträchtlich genommen werden, weil die feuchten thierischen Theile einen so mächtigen Widerstand in den Kreis einführen, dass dagegen immer noch derjenige des Drahtes verschwindet, also auch keine weitere Schwächung der Stromstärke bedingt. 2) Stellt sich die Aufgabe, in den Kreis keine Ungleichartigkeiten zu bringen, welche selbst Quellen einer electrischen Strömung sind; mit andern Worten, es muss die Nadel des Multiplikators vollkommen in Ruhe bleiben, so lange die Enden des Drahtes in eine indifferente gleichartige, den Multiplikatorkreis schliessende Flüssigkeit tauchen. Dieses bewerkstelligt du Bois dadurch, dass er die beiden Enden der Multiplikatorendrähte mit Platinblechen in Berührung bringt, welche durch chemische Reinigungsmittel auf ihrer Oberfläche gleichartig gemacht wurden. Diese Bleche tauchen in unveränderter Stellung in zwei Becher mit conzentrirter Kochsalzlösung, und sind noch besonders an den ausserhalb der Flüssigkeiten gelegenen Abschnitten überfirnisst, um bei Bewegungen der Flüssigkeit keine neuen Metalloberflächen mit ihr in Berührung zu bringen. In dieselben Becher werden auch Bäusche von Fliesspapier, die mit gesättigter Kochsalzlösung vollkommen durchtränkt sind, eingesenkt; die freien Enden dieser Bäusche, die aus der Flüssigkeit hervorragen, werden durch einen dritten, mit gesättigter Kochsalzlösung durchtränkten Bausch geschlossen. In diesem Zustande muss der Multiplikator, bevor er zu den Versuchen benutzt wird, so lange geschlossen bleiben, bis alle Ungleichartigkeiten in dem Kreise ausgeglichen sind. Ist aber der Kreis statt des einfachen Schliessungsbausches einmal, wenn auch während noch so kurzer Zeit, durch eine Electrizitätsquelle geschlossen gewesen, so dass ein Strom durch die Kochsalzlösung zu den Platinblechen u. s. w. gegangen ist, so wird nach neuer Schliessung durch den indifferenten Bausch eine Ablenkung der Nadel, oder anders ausgedrückt, eine electrische Ungleichartigkeit in dem Kreise zurückbleiben. Diese Ungleichartigkeit ist bedingt durch die chemischen Zersetzungsprodukte, welche von dem die Lösung durchsetzenden electrischen Strom frei gemacht, die Platinoberflächen überziehen (Ladung, Polarisation); eine solche Ladung ruft aber bekanntlich jedesmal einen, dem Ladungserzeugenden entgegengerichteten Strom hervor. Die Einrichtungen des Multiplikatorenkreises müssen nun

so gestaltet sein, dass auch diese Ladungen möglichst rasch verschwinden, was aus bekannten Gründen dann geschieht, wenn die Platinenden mit einer grossen Oberfläche in den geschlossenen Kreis tauchen und ausserden die Widerstände dieses letzteren möglichst gering werden, das heist wenn die leitende Flüssigkeitsschichte eine möglichst geringe Länge und einen möglichst grossen Querschnitt bietet. Darum nähert du Bois seine grossen Platinbleche den Bäuschen sehr an und wendet einen breiten Schliessungsbausch an, der in ausgiebiger Berührung mit den beiden andern steht. Endlich 3) darf durch die Berührung der thierischen Theile mit den flüssigen Multiplikatorenenden (den Bäuschen) keine neue, in den Nerven nicht schon enthaltene Electricitätsquelle gesetzt werden. Obwohl nun dieses durch die Berührung des Kochsalzes mit den Nerven nicht geschieht, so darf der Nerv dennoch nicht unmittelbar auf die Bäusche gelegt werden, weil das eindringende Kochsalz ihn rasch zerstören würde. Darum legt du Bois, bevor er die Nerven einschaltet, auf jeden Bausch ein Stückchen Harnblase des Schweins, das vorher auf's innigste mit Hühnereiweiss durchfeuchtet worden ist. Von diesem hier geschilderten Apparat gibt die Fig. 8 eine Vorstellung; die Vorrichtung ist in dem Zustande der Schliessung durch den Nerven dargestellt.

Fig. 8.



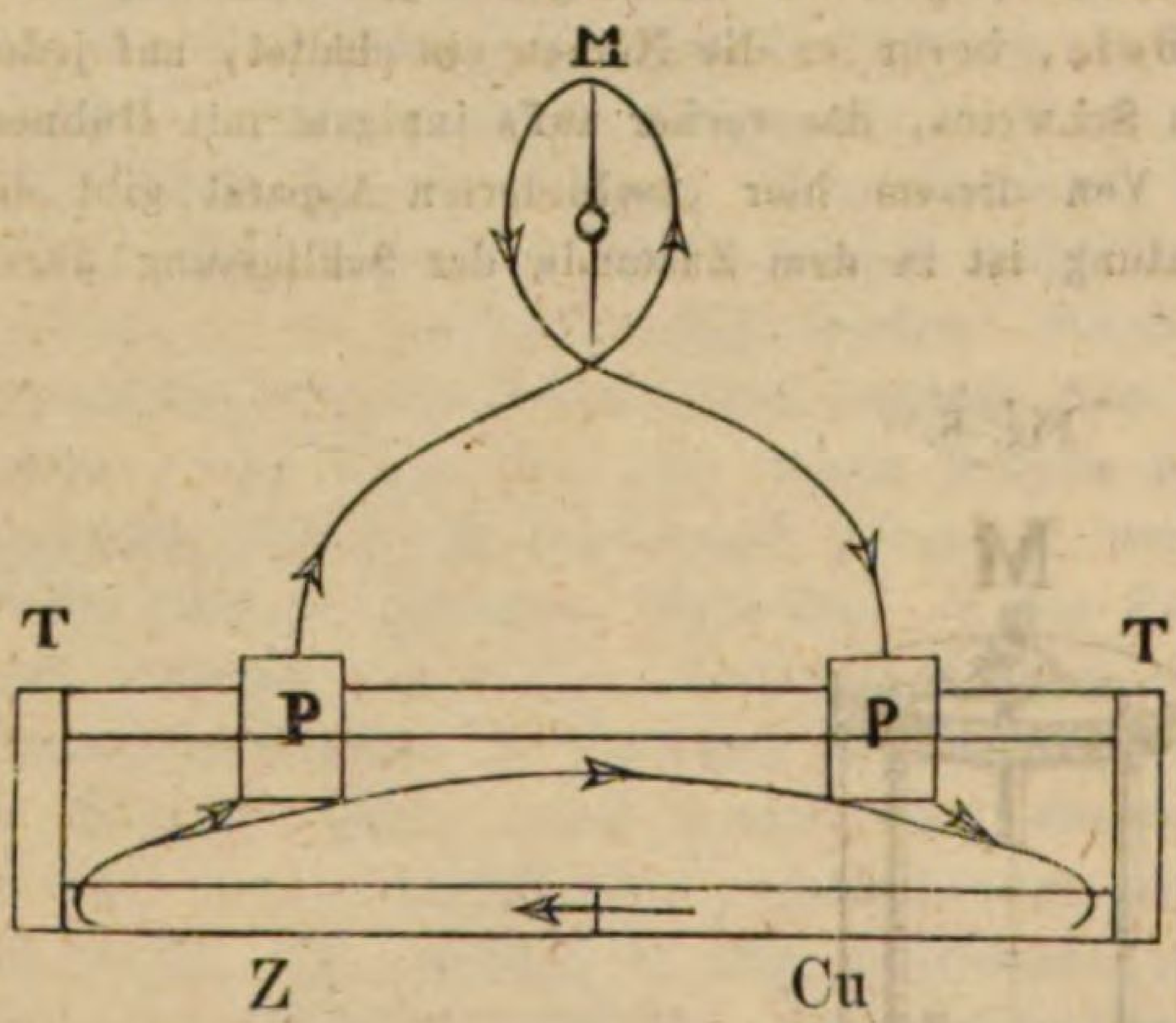
N bedeutet den Nerven, *HH* die mit Eiweiss durchtränkten Häutchen, *BB* die Bäusche, *GG* die Becher, welche bis nahe zum Rand mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt sind; *PP* die Platinbleche, deren oberer (schräg schraffirter) Theil gefirnisst ist und die mit blanken Enden in die Metallklemmen *KK* gehen. Diese Klemmen

sind an dem metallischen Ständer *SS* befestiget, dessen senkrechte Stücke durch eingeschobene Glascylinder (die schräg schraffirten Theile) vom Boden isolirt werden. Aus dem horizontalen Arm des Ständers führt endlich der Zuleitungsdraht *DD* zum Multiplikator *M*, dessen Construction als bekannt vorausgesetzt wird.

Das Genauere über die Einrichtung und Handhabung dieses Apparates siehe bei du Bois I. Bd. 161 u. f.

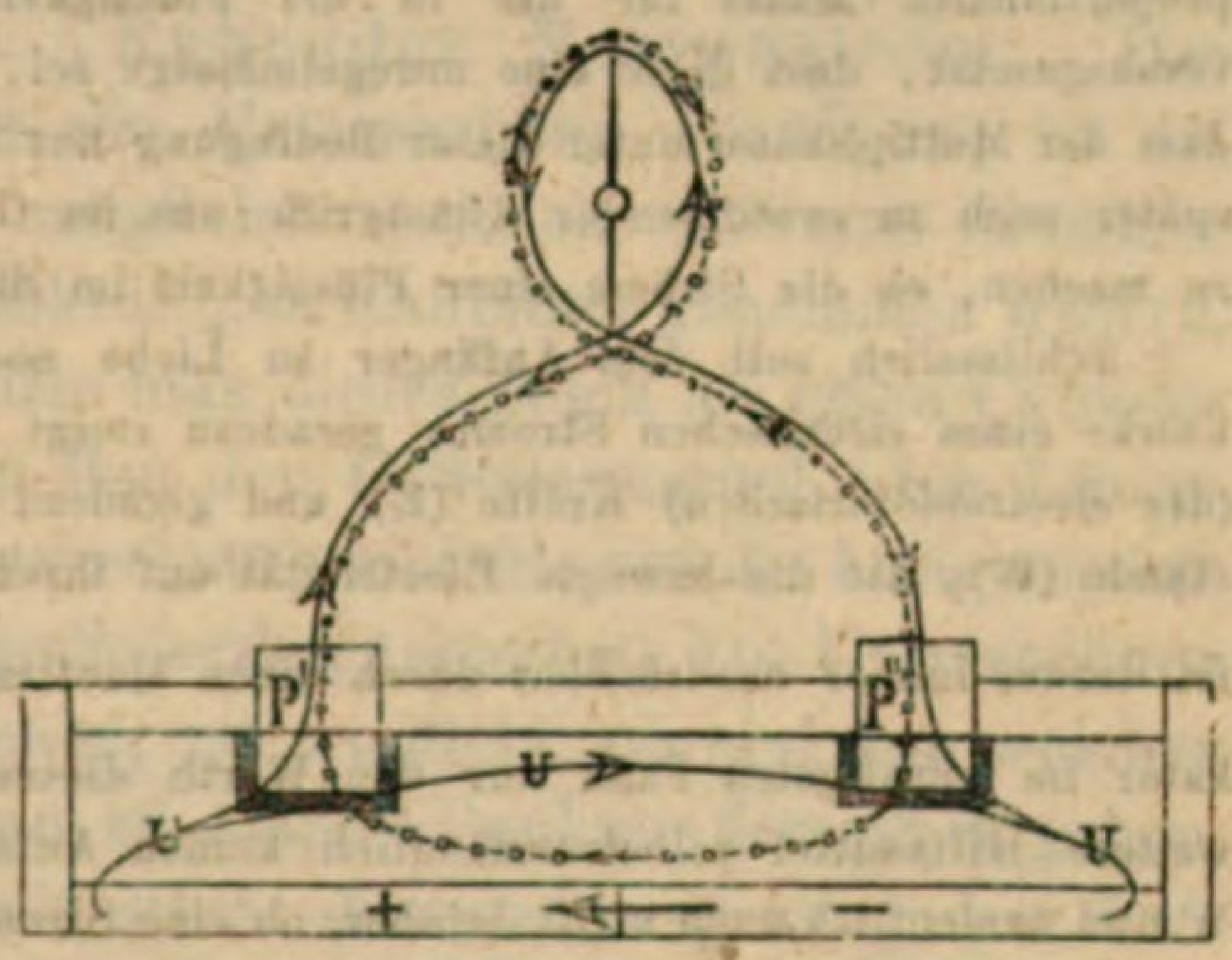
Die Bedeutung, welche dem Multiplikator als Messinstrument zukommt, bedarf noch einer weiteren Auseinandersetzung; um sie zu veranschaulichen, wenden wir uns sogleich zur Betrachtung eines Beispiels, das als ein Schema der Nerven in electrischer Beziehung angesehen werden kann. Zu diesem Behufe denken wir uns es sei (Fig. 9) auf dem Boden des Troges *TT* ein aus Kupfer *Cu* und aus Zink *Z* zusammengelöthete Platte angebracht und es sei dieselbe darauf mit einer leitenden Flüssigkeit übergossen worden. In diesem Fall werden durch die Flüssigkeit electrische Ströme dringen von dem positiven zu dem negativen Metall, in der Richtung, welche die Pfeile angeben. Werden darauf die metallischen gleichartigen Enden *PP* des Multiplikators *M* in die Flüssigkeit getaucht, so wird der ursprünglich einfache, die Flüssigkeit durchlaufende electrische Strom sich spalten, indem er nun auch einen Zweig in der Richtung der Pfeile durch den Multiplikatorendraht sendet. Die Aufgabe des Multiplikators besteht darin, uns aus dem durch ihn tretenden Zweigstrom eine Vorstellung zu verschaffen über Richtung und Stärke des durch die Flüssigkeit tretenden Hauptstroms. Es ist nun sogleich klar, dass die Antheile der Gesammtströmung, welche durch jeden der Zweige (den Draht und die Flüssigkeit) hindurchgehen, abhängig sein werden von dem Verhältniss ihrer Leitungswiderstände, in der Art, dass, wenn der Widerstand, den die metallische Bahn dem electrischen Strom entgegensetzt, die Hälfte von dem betragen würde, den die Flüssigkeitsbahn bietet, der Strom im Draht um's Doppelte den im Trog übertreffen würde. Ist demnach das Verhältniss der Leitungswiderstände in beiden Stromzweigen ein constantes und zugleich bekanntes, so würde man aus dem Grade der Nadelablenkung, den der Stromzweig in dem graduirten Multiplikator erzielte, auch den Stromwerth in der Flüssigkeit durch einen einfachen Proportionssatz berechnen können. — Gesetzt aber, es wäre das Verhältniss der Leitungswiderstände zwar ein constantes, dagegen die ihm zukommende Zahl nicht bekannt, so würden wir zwar keinen Aufschluss über den absoluten Werth des Stromes in der Flüssigkeit erhalten, wir würden dagegen noch mit Sicherheit angeben können, ob und welchen Schwankungen die Gesammtströmung unterworfen sei. Denn offenbar müsste wegen der Beständigkeit des Verhältnisses der Leitungswiderstände beider Bahnen einer jeden Veränderung der Stromstärke in der Flüssigkeit auch eine solche in dem Drahte parallel gehen, deren jeweilige Werthe an dem Stande der Nadel abgelesen werden könnten; mit einem Worte, der Multiplikator wäre statt

Fig. 9.



eines absoluten ein proportionaler Maassstab geworden. — Wenn dagegen auch noch die Bedingung des beständigen Widerstandsverhältnisses nicht erfüllt ist, so hört der Multiplikator auf proportionaler Maassstab zu sein; ja es kann sich sogar nun ereignen, dass die im Multiplikator kreisende Electrizität weder einen Schluss zulässt auf die Stärke, noch auf die Richtung des Stromes in der Flüssigkeit. In der That tritt bei einer Vorrichtung, wie sie unser Schema darstellt, ein Umstand ein, der genau so wirkt, als ob das Widerstandsverhältniss beider Zweige während der Dauer eines in seiner Stärke schwankenden Stromes ein unbeständiges sei. Dieser Umstand ist aber kein anderer als die Polarisation oder Ladung, welche die Enden eines Drahtes erfahren, der, wie in unserem Fall, zur Nebenschliessung eines durch Flüssigkeiten geführten Stromes benutzt wird. Diese Polarisation besteht nun bekanntlich in dem Absatz von Zersetzungsprodukten der Flüssigkeit auf den beiden Drahtenden in der Art, dass auf derjenigen Endplatte P' in Fig. 10, durch welche der ursprüngliche Strom *uuu* in die metallische Leitung eintritt, sich ein electropositives Zersetzungsprodukt (in der Fig. durch den senkrecht schraffirten Mantel angedeutet) anlegt, während an die Platte P'', durch welche der Strom austritt, sich das negative (in der Fig. horizontal schraffirte) Zersetzungsprodukt heftet. Die nothwendige Folge dieser Vertheilung der Zersetzungsprodukte ist die Entstehung eines neuen Stromes, des Polarisations- oder Ladungsstromes, der in dem Draht sich in einer Richtung bewegt, die derjenigen des ursprünglichen Stromes entgegengesetzt ist. Denn da der electromotorisch wirksame Berührungspunkt der Zersetzungsprodukte durch den Multiplikatorendraht gegeben ist, so wird offenbar der von ihm ausgehende Strom in der Richtung der Pfeile, welche in der Fig. 10 auf der punktirten Bahn gelegen sind, nehmen. Demgemäss kreisen in dem Multiplikatorendrahte gleichzeitig zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung, deren Resultirende die Nadel drehen wird; da aber diese Resultirende durch die Differenz der beiden Ströme gegeben ist, so vermindert also, analog dem Leitungswiderstand, der Ladungsstrom die Wirkung des ursprünglich vorhandenen. — Um den Einfluss dieses Ladungsstromes auf das Retultat der Messung beurtheilen zu können, mit andern Worten: um angeben zu können, wie gross der durch den Ladungsstrom vernichtete Antheil des ursprünglich im Drahte kreisenden Stromes sei, ist es nothwendig zu wissen, wie mit der Dauer und Stärke des ursprünglichen Stromes der Ladungsstrom wachse. Rücksichtlich dieser Verhältnisse steht fest, dass, alles Andere gleichgesetzt, die Ladung zunimmt mit der Stärke des ursprünglichen Stromes, jedoch nicht mit dem Beginn desselben sogleich ihr Maximum erreicht, oder beim Aufhören des ladungerregenden Stromes sogleich auf Null herabsinkt, sondern dass beides, die Entwicklung und das Verschwinden der Ladung sehr allmälig vor sich gehet. Hieraus folgt nun u. A., dass, wenn die Stärken des ursprünglichen Stromes rasch genug wechseln, um den Ladungen nicht die gehörige Zeit zu gönnen, zur Annahme desjenigen

Fig. 10.



Werthes, welcher der gerade vorhandenen Stärke des ursprünglichen Stromes entspricht, der Multiplikator ebensowenig benutzt werden kann als Mittel für die Bestimmung der Stärke, als für diejenige der Richtung des Stromes, in den seine Enden tauchen. Denn es wird sich z. B. ereignen können, dass die Nadel, trotzdem dass der ursprüngliche Strom seine Richtung beibehält, doch im zeitlichen Verlauf dieses Stromes eine Lage annimmt, welche eine gerade entgegengesetzte Stromrichtung anzeigen würde. Dieses muss geschehen, wenn der ursprüngliche Strom mit einer beträchtlichen Intensität so lange anhält, bis er die Platten auf das seiner Stärke entsprechende Maximum geladen hat, und er darauf plötzlich beträchtlich geschwächt wird. Da der zurückbleibende Ladungsstrom nicht eben so plötzlich abnimmt, so erhält er das Uebergewicht über den Rest des Hauptstromes, und darum wird die Nadel für einige Zeit gerade in eine Richtung geführt, welche derjenigen entgegengesetzt ist, nach der sie der Hauptstrom ablenken würde. Weil sich nun die Ladungen überhaupt nicht vollkommen vermeiden lassen, so folgt daraus, dass die Nadelablenkungen, welche die in den Drähten des Multiplikators laufenden Ströme erzeugen, auch nicht als ein direkt proportionales Maass für die in der Flüssigkeit vorhandene Electrizitätsbewegung, vorausgesetzt, dass diese eine unregelmässige sei, angesehen werden können, sondern dass der Multiplikator unter dieser Bedingung nur dazu dient, um mit Hülfe besonderer später noch zu erwähnender Kunstgriffe uns im Grossen und Ganzen Angaben darüber zu machen, ob die Ströme einer Flüssigkeit im Sinken oder Steigen begriffen sind.

Schliesslich soll dem Anfänger zu Liebe noch hervorgehoben werden, dass die Stärke eines electrischen Stromes geradezu steigt mit dem Werthe der ihn erregenden (der electromotorischen) Kräfte (E) und geradezu abnimmt im Verhältniss der Widerstände (W), die die bewegte Electricität auf ihren Bahnen findet. Die Stromstärke (S) ist darum immer ausdrückbar durch einen Quotient $S = \frac{E}{W}$. Da nun der Multiplikator im günstigsten Falle nur den Werth dieses Quotienten misst, so gibt er ohne weitere Hilfsmittel selbstverständlich keinen Aufschluss über die Werthe von E oder W und namentlich auch nicht darüber, ob eine Stromvermehrung oder Stromverminderung durch das Wachsen oder Sinken der Stromstärke oder des Widerstandes erzeugt sei. Aufklärung darüber kann man nur erhalten, wenn es gelingt, während der Messung die Bedingungen willkürlich dahin zu ändern, dass man bei gleichbleibendem W das E, oder umgekehrt bei gleichbleibendem E das W veränderlich macht.

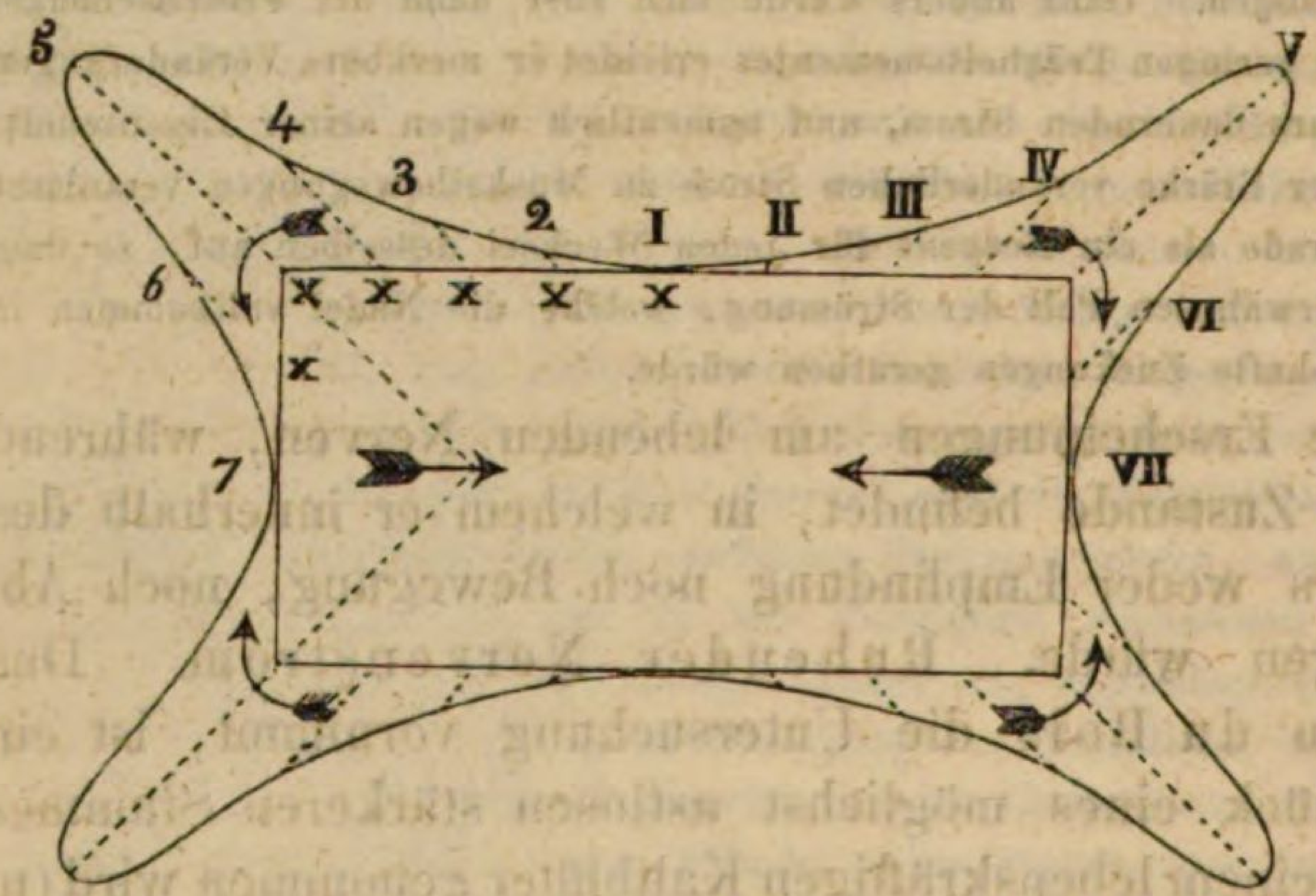
Den Froschschenkel präparirt man sich behufs thierisch-electrischer Untersuchungen so, dass man am enthäuteten Beine den Oberschenkelknochen kurz über den Ansätzen des M. gastrocnemius durchschneidet, dann alle Muskeln, die die Verbindung zwischen dem unteren und oberen Stücke des Oberschenkels noch herstellen, löst, den Nervus ischiadicus dagegen möglichst weit gegen seinen Ursprung frei präparirt und ihn an diesem abschneidet, so dass er in Verbindung mit dem Unterschenkel bleibt. Der stromprüfende Froschschenkel ist also ein enthäuteter Unterschenkel, dessen zugehörige Nervenstämme möglichst lang erhalten sind. Seine Vorzüge vor dem Multiplikator bestehen 1) darin, dass durch ihn ohne Einfügung von Metallen ein Strom geprüft werden kann, wodurch alle die am Multiplikator nothwendigen und verwickelten Zwischenapparate wegfallen, 2) aber vorzüglich darin, dass er eine Seite der electrischen Strömung aufdeckt, welche dem Multiplikator ganz unzugänglich ist. Bekanntermaassen ist die Magnetnadel zu träg, um einen momentan dauernden Strom überhaupt oder wenigstens in seiner wahren Stärke anzuzeigen. Die nothwendige Folge dieser Eigenschaft ist nun auch die, dass die Magnetnadel den rasch wechselnden Schwankungen eines

Stromes in seinen verschiedenen Phasen nicht zu folgen vermag, sondern dass sie nur die resultirende Wirkung eines in seiner Stärke und Richtung rasch veränderlichen Stromes darstellt. So würde unter andern eine Magnetnadel gar keinen Strom anzeigen (auf den Nullpunkt verharren), wenn in rascher zeitlicher Folge regelmässig wechselnd zwei gleich starke, aber in entgegengesetzter Richtung gehende Ströme sich durch den Multiplikatorendraht drängen. Ganz anders würde sich aber dann der Froschschenkel verhalten; wegen seines geringen Trägheitsmomentes erleidet er merkbare Veränderungen durch jeden noch so kurz dauernden Strom, und namentlich wegen seiner Eigenschaft, nur durch den in seiner Stärke veränderlichen Strom zu Muskelbewegungen veranlasst zu werden, tritt er gerade als ein Reagens für jeden Wechsel desselben auf, so dass er z. B. in dem eben erwähnten Fall der Strömung, welche die Nadel vollkommen in Ruhe liess, in sehr lebhafte Zuckungen gerathen würde.

2. Electrische Erscheinungen am lebenden Nerven, während er sich in einem Zustande befindet, in welchem er innerhalb des thierischen Körpers weder Empfindung noch Bewegung, noch Absonderung erzeugen würde. Ruhender Nervenstrom. Das Präparat, an dem du Bois die Untersuchung vornimmt, ist ein frisches langes Stück eines möglichst astlosen stärkeren Stammes der am besten von einem lebenskräftigen Kaltblüter genommen wird (n. ischiadicus des Frosches). Indem man dieses Stück als einen Cylinder ansieht, unterscheidet man an ihm den Cylindermantel (den Längsschnitt), die Cylinderbasis (Querschnitt) und die auf die Längenachse desselben senkrechte Halbirungslinie (den Aequator). Die Untersuchung stellt sich nun zuerst die Aufgabe, zu ermitteln, ob und von welchen Punkten der Oberfläche Ströme zu andern Punkten derselben gehen, und, wenn sie vorhanden, wie stark die Strömung an jedem Orte ist. Demgemäss bringt man den Nerv gleichzeitig an verschiedenen Stellen mit den beiden Zuleitungsbäuschen, welche in einer constanten Entfernung von einander stehen, in Verbindung. Berührt man nun gleichzeitig die Bäusche mit symmetrisch zum Aequator gelegenen Punkten des Nervenstücks, gleichgiltig ob sie auf dem Längs- oder Querschnitte sich befinden, so erscheint keine Ablenkung der Nadeln; unwirksame Anordnung. Berührt dagegen der eine der Bäusche den Aequator und der andere ein zweites Stück der Oberfläche, so entsteht eine Ablenkung; die Grösse der Ablenkung wächst rascher und rascher, wenn man mit beiden Bäuschen mehr und mehr gegen die Grenze der Oberfläche und des Querschnitts wendet, schwache Anordnung; sie erreicht ein Maximum, wenn man endlich einen Bausch auf der Oberfläche zurücklässt und mit dem andern auf den Querschnitt übergeht; starke Anordnung. — Die Richtung der Ströme geht in allen Fällen durch den Multiplikatorendraht von dem Längsschnitt zum Querschnitt und

also im Innern des Nerven vom Querschnitt zur Oberfläche. Die um den Aequator gelegenen Theile der Oberfläche verhalten sich also positiv gegen die nach den Enden gelegenen und diese wieder positiv gegen den Querschnitt. Eine Versinnlichung des Wachsthums der Ströme von ihrem Minimum zu ihrem Maximum bei gleicher Spannweite des ableitenden Bogens erhält man, wenn man sich die wachsenden Stärken der Ablenkung $x1$, $x2$, $x3$ u. s. w. paralell der geraden, welche die Ecken des Rechtecks (Nervendurchschnitts) halbirt, als Ordinaten auf der Oberfläche des Nerven N als Abszisse aufgetragen denkt, wie dies in der Fig. 11 geschehen ist. Die Pfeile geben die Richtung der Ströme an.

Fig. 11.

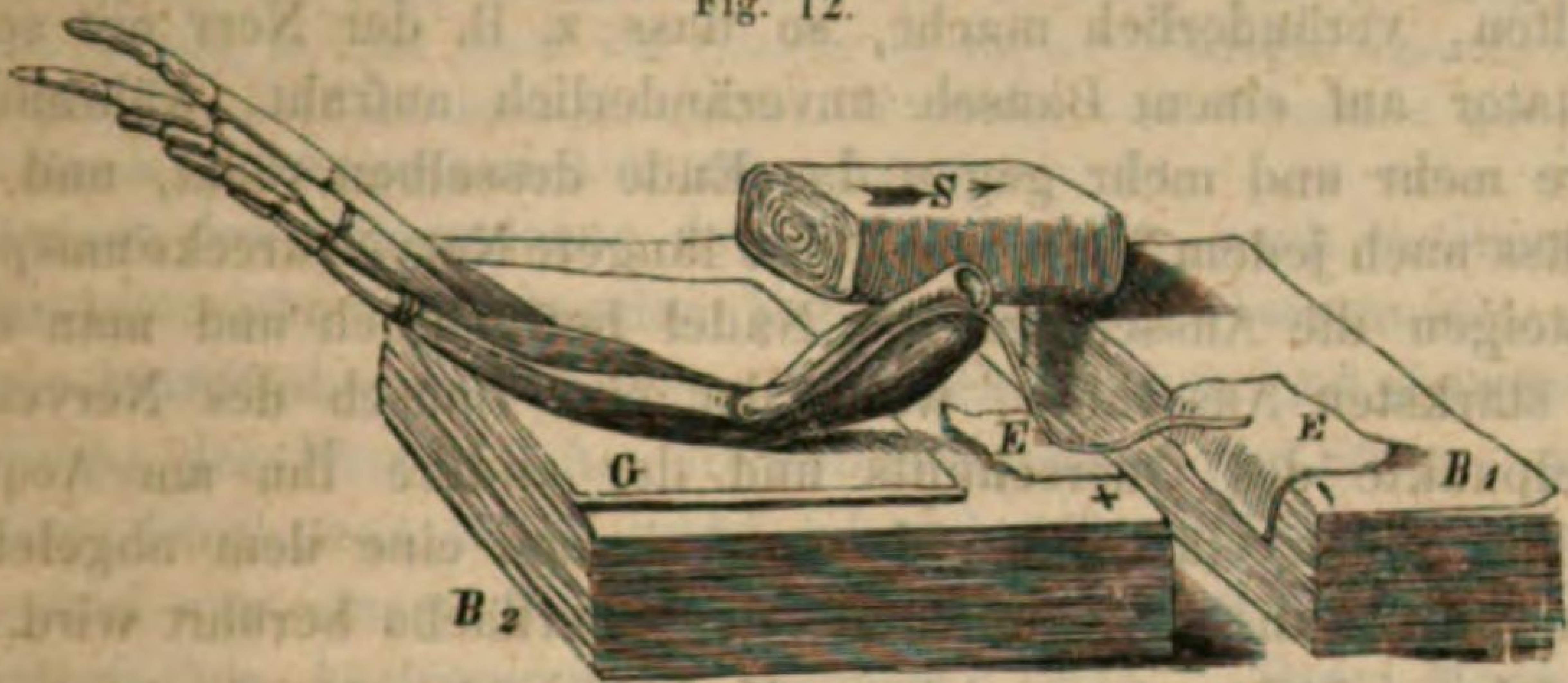


Diese Curve zeigt also an, dass auf dem Längenschnitt symmetrisch um den Aequator Ströme gleicher Stärke und entgegengesetzter Richtung gehen. Dasselbe setzt sie von den Strömen auf dem Querschnitte des Nerven voraus, was vorerst noch nicht durch den Versuch dargethan; die Gründe, die diese letztere Annahme wahrscheinlich machen, werden später noch beigebracht werden. Die Form der Curve ist nur als eine schematische anzusehen.

Die Gegenwart dieser Ströme von dem Längsschnitt des Nerven zu seinem Querschnitt kann auch durch den Froschschenkel erwiesen werden. Der Versuch, durch den du Bois dieses thut, ist folgender. Er stellt (Fig. 12) zwei mit conzentrirter Kochsalzlösung wohl durchfeuchtete Bäusche (B^1 B^2), die auf einer wohl isolirten Grundlage ruhen, auf; an zwei Stellen beider werden die mit Eiweiss durchtränkten Harnblasenstückchen E E angedrückt und auf den Bausch B^2 ausserdem noch in Glasplättchen G gelegt; hierauf bringt er einen sehr erregbaren stromprüfenden Froschschenkel auf das Glasplättchen und seinen zugehörigen Nerven auf das Harnblasenstück des Bausches B^2 mit dem Längenschnitt und auf dasjenige des Bausches B^1 mit dem Querschnitt an. Ist dieses geordnet, so verbindet er sehr rasch die beiden Bäusche durch den mit conzentrirter Kochsalzlösung durchtränkten Schliessungsbausch S, in welchen augenblicklich ein Strom von B^2 zu B^1 dringt, in Folge dessen der Schenkel zuckt. Oeffnet man eben so rasch wieder, so entsteht eine zweite Zuckung. — Es

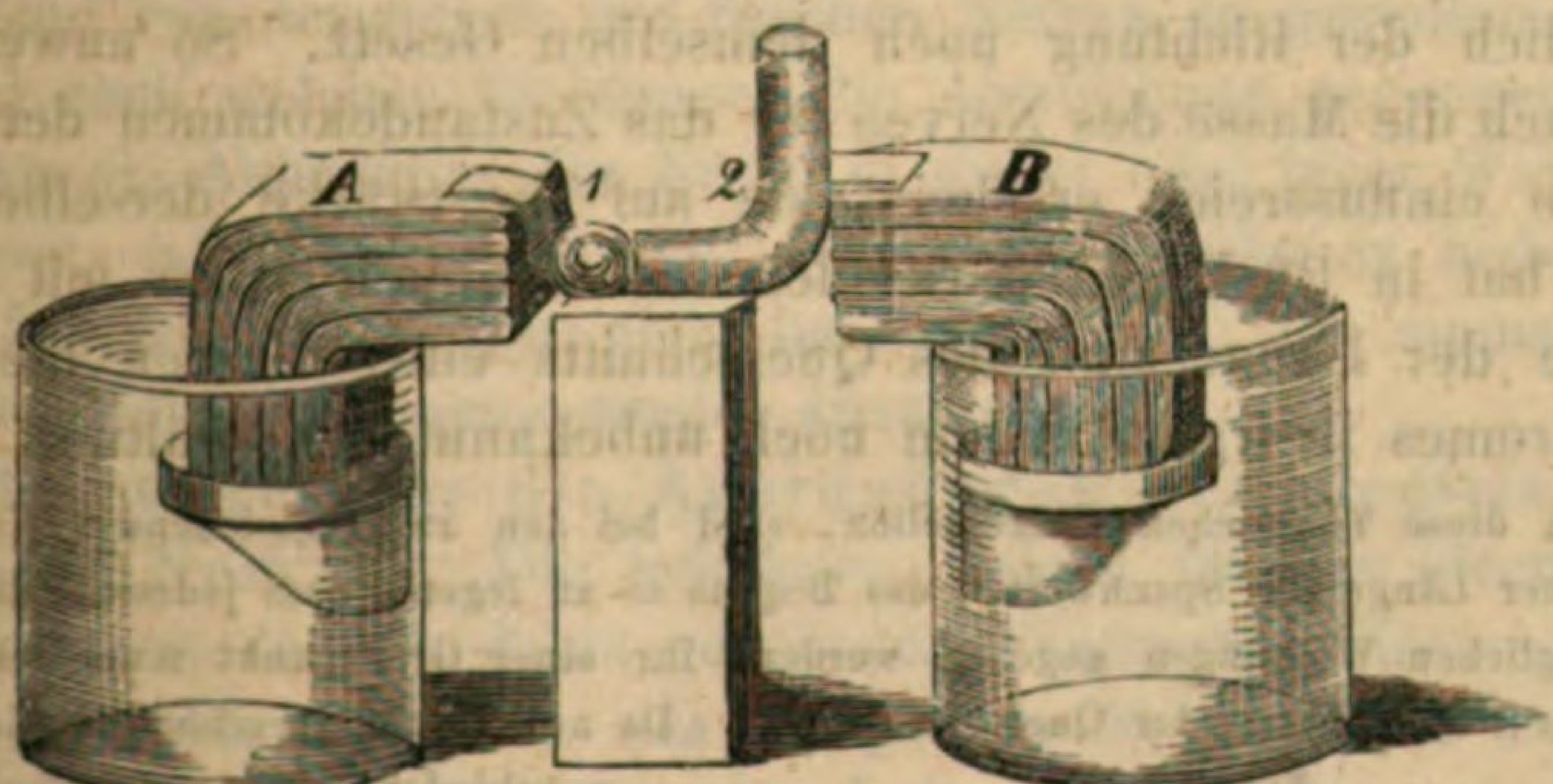
bringt also hier ein Strom, der die im Nerven enthaltenen Gegensätze auszugleichen strebt, den Nerven in Erregung.

Fig. 12.



Die Ströme vom Längen- zum Querschnitt werden in unveränderter Stärke auch dann noch vom Multiplikator angezeigt, wenn der Nerv in der durch Fig. 13 dargestellten Anordnung auf die

Fig. 13.



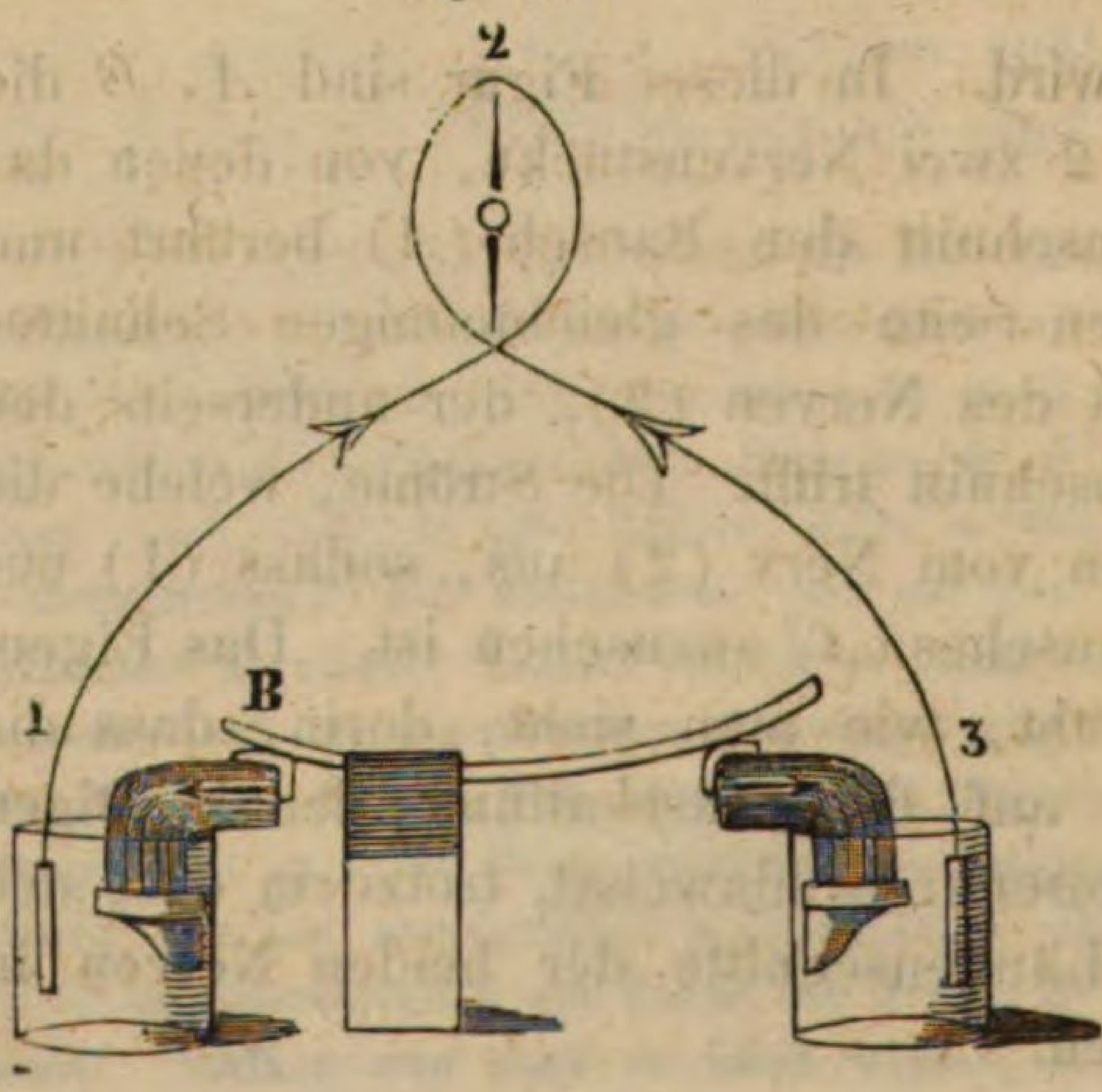
ableitenden Bäusche gelegt wird. In dieser Figur sind *A*, *B* die ableitenden Bäusche, 1 und 2 zwei Nervenstücke, von denen das eine (1) mit seinem Längenschnitt den Bausch (*A*) berührt und das an der entgegengesetzten Seite des gleichnamigen Schnittes berührt wird vom Querschnitt des Nerven (2), der anderseits den Bausch (*B*) mit dem Längenschnitt trifft. Die Ströme, welche die Magnetnadel ablenken, gehen vom Nerv (2) aus, sodass (1) nur als eine Verlängerung des Bausches (*A*) anzusehen ist. Das Eigenthümliche dieses Versuchs ruht, wie man sieht, darin, dass die Grösse der Nadelablenkung auf die Einschaltung der kräftigen Anordnung in den Multiplikatorenkreis hinweisst, trotzdem dass sich mit den Bäuschen nur die Längenschnitte der beiden Nerven in unmittelbarer Berührung finden.

Wenn man die Spannweite des zum Multiplikator ableitenden Bogens statt sie, wie bisher vorausgesetzt wurde, gleich gross zu erhalten, veränderlich macht, so dass z. B. der Nerv mit seinem Aequator auf einem Bausch unveränderlich aufruht, während der andre mehr und mehr gegen das Ende desselben rückt, und demgemäss nach jedem Weitergang eine längere Nervenstrecke umspannt, so steigen die Ausschläge der Nadel beträchtlich und man erhält den stärksten Ausschlag, wenn der eine Bausch des Nerven am Mittelpunkte des Querschnitts und der andere ihn am Aequator berührt, einen stärkeren, als wenn irgend eine dem abgeleiteten Querschnitt nahe liegende Stelle der Oberfläche berührt wird.

Dieses bisher beschriebene Verhalten des Nerven gegen die Magnetnadel tritt mit seinen allgemeinen Kennzeichen ein, mag das Nervenstück dick oder dünn, lang oder kurz sein; jedes noch so kleine der Untersuchung noch zugängige Stück zeigt unwirksame, schwache und starke Anordnungen und seine Ströme gehen immer bezüglich der Richtung nach demselben Gesetz. So unwesentlich demnach die Masse des Nerven für das Zustandekommen der Ströme ist, so einflussreich erscheint sie auf die Stärke derselben. Du Bois hat in Rücksicht dieses letzteren ermittelt, dass mit der Zunahme der Länge und des Querschnitts eines Nerven die Stärke des Stromes in irgend einem noch unbekannten Verhältniss wächst.

Um diese Thatsachen festzustellen, sind bei den zu vergleichenden Nerven verschiedener Länge die Spannweiten des Bogens so zu legen, dass jedesmal die Maxima der möglichen Wirkungen gegeben werden; ihr einer Grenzpunkt muss demnach der Aequator, der andere der Querschnitt sein. Da nun ferner verschiedene Nerven verschiedene elektromotorische Kräfte besitzen können und in der That besitzen, wie sich noch zeigen wird, so müssen möglichst gleichartige Nerven, also die gleichnamigen der beiden Schenkel desselben Thieres, oder auch verschieden dicke Enden desselben Nerven verglichen werden. Endlich führte auch die Verschiedenheit des Querschnittes und der Länge des Nerven verschiedenen Widerstand in den Kreis; diese Unterschiede werden aufgehoben durch das Verfahren der Compensation, das darin besteht, dass die zu vergleichenden Nervenstücke gleichzeitig in den Kreis, aber in entgegen-

Fig. 14.



gesetzter Richtung, eingeschaltet werden, wie diess in Fig. 14 angegeben. Der Nerv *B* sendet dann einen Strom in der Richtung 1, 2, 3 und der Nerv *A* einen solchen in der Richtung 3, 2, 1 durch den Kreis. Erscheint in diesem Fall ein Uebergewicht des einen Stromes, so muss dieses von grössern electrischen Leistungen eines der beiden Nerven abhängen, da der ausserwesentliche Widerstand (der Widerstand ausserhalb der im Nerven enthaltenen Ketten) in beiden Fällen gleich ist.

Ausser den Dimensionen des Nerven wirken noch bestimmend auf die Intensität des ruhenden Nervenstroms gewisse innere nicht genauer bestimmbare Verhältnisse der mechanischen und chemischen Anordnung des Nerven. Am stärksten erscheint der Strom, wenn der Nerv frisch von einem recht lebenskräftigen Thier genommen wird, und aus einem Glied, welches einige Zeit vorher keinen physiologischen Anstrengungen ausgesetzt war. Dieses Maximum der uns bekannten Stromstärke kann auf mancherlei Art willkürlich geschwächt oder vernichtet werden; alle diese Schwächungsmittel haben, so vielfach sie auch sein mögen, immer noch gleichzeitig die Folgen, die chemische und mechanische Anordnung des Nerven abweichend von derjenigen des frischen Nerven zu gestalten. Wie weit und nach welchen Richtungen die Abweichung gegangen sein muss, um die Ablenkung der Nadel in dieser oder jener Weise zu modificiren, ist ganz unbekannt, was nicht minder zu bedauern, als der Umstand, dass wir nicht im Stande sind, die einmal eingetretene Stromschwächung wieder anzufachen.

Folgerungen für die Anordnungen der electrischen Theile im Nerven. Die Schlüsse, welche für die electrische Anordnung aus den bis dahin gegebenen Thatsachen fliessen, sind 1. die electrischen Massen des erregbaren Nerven sind in eine Schichte eines feuchten indifferenten Leiters eingebettet, und zwar so, als ob ihre positive Seite gegen den Cylindermantel, die negative gegen den Querschnitt gewendet sei. Mit andern Worten, der erregbare Nerv stellt eine geschlossene Säule dar, dessen positiver Pol gegen den Längen-, dessen negativer gegen den Querschnitt gerichtet ist.

Der Beweis für den ersten Theil dieses Satzes liegt darin, dass die in Fig. 13 gezeichnete Anordnung noch die grosse Nadelablenkung hervorruft; wäre in der That die Nervenscheide selbst electropositiv, so müsste bei dieser Art des Versuches entweder gar kein Strom oder nur ein schwacher angezeigt werden. Wenn dagegen die Scheide des Nerven ein unwirksamer, leitender Ueberzug ist, so versteht sich das erlangte Resultat von selbst, da ja dann in den Kreis Quer- und Längenschnitt des Nerven eingeschaltet ist.

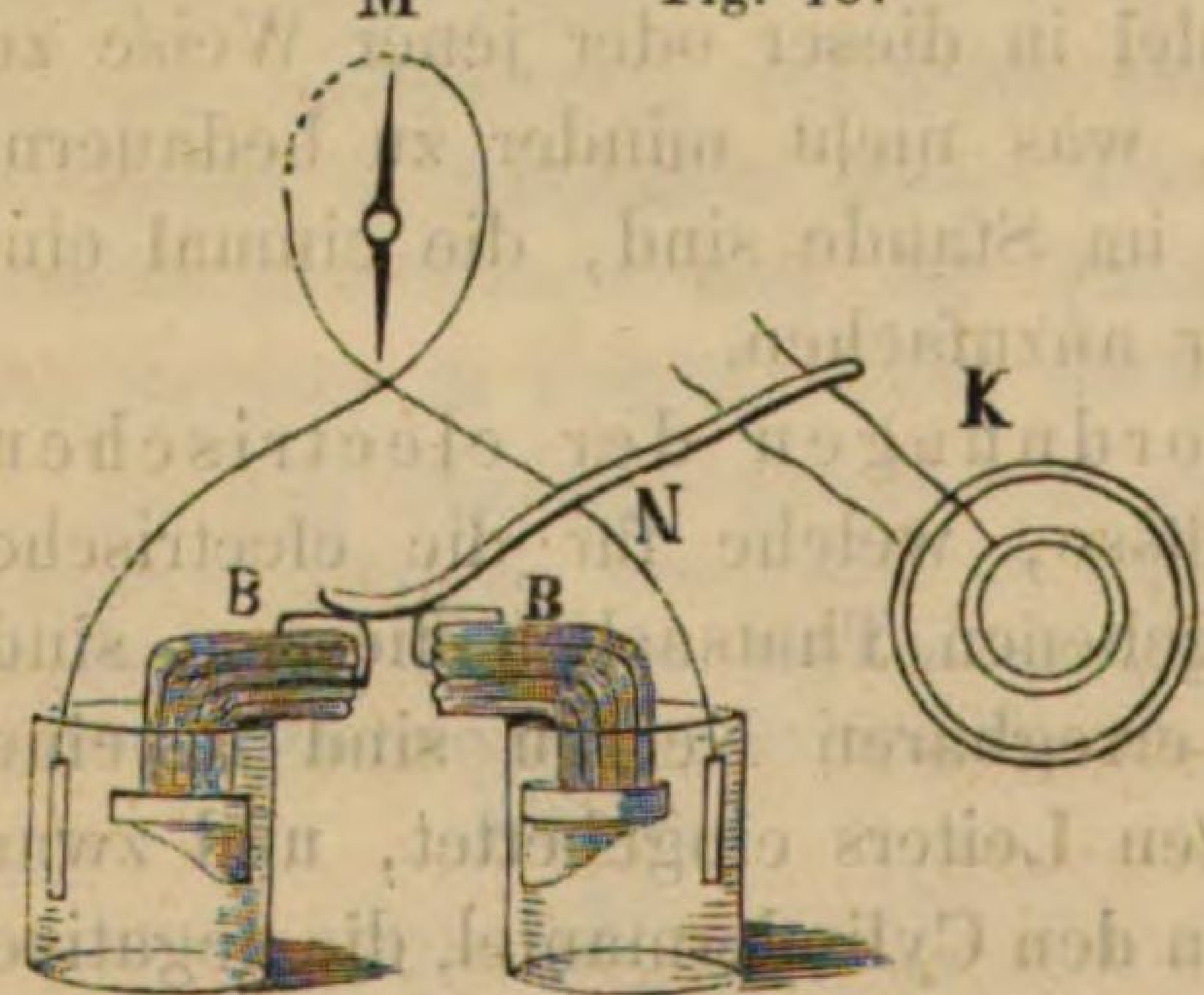
Es ergibt sich ausserdem 2. dass die im Nerven enthaltenen positiven und negativen electrischen Massen hintereinander in

Bayerische Staatsbibliothek München

regelmässiger Reihenfolge wiederkehren. Diese Behauptung wird dadurch gerechtfertigt, dass die Strömung vom Längen- zum Querschnitt im Wesentlichen unverändert bleibt, wie oft man auch den Nerven der Länge und Quere nach theilen mag. In dieser Beziehung besteht zwischen dem Nerven und dem Magneten eine bemerkenswerthe Analogie.

3. Electrisches Verhalten des Nerven, während ein Theil seiner Länge dem Einfluss eines constanten electrischen Stromes unterworfen ist. Electrotonischer Zustand. — Bevor wir die bis dahin mitgetheilten Thatsachen zu noch weiteren Folgerungen nutzbar machen, sollen erst die Umwandlungen der electrischen Erscheinungen besprochen werden, welche du Bois im Nerven beobachtete, und zwar zuerst diejenige, welche eintritt, wenn man eine kurze Strecke eines langen Nervenstücks in den Multiplikatorenkreis einschaltet und durch das ausserhalb dieses Kreises gelegene Ende einen electrischen Strom von gleichbleibender Stärke durchtreten lässt. Der Versuch gestaltet sich folgendermaassen (Fig. 15): der Nerv N liegt mit einer Abtheilung auf den Bäuschen BB, die in bekannter Weise mit dem Multiplikator M verbunden sind, während durch einen andern Theil des Nerven N die constante (eine Grove'sche oder Bunsen'sche) Säule K geschlossen wird. Den Strom dieser Säule werden wir den erregenden, das zwischen den Polen der letztern liegende Nervenstück das galvanisirte, das auf den Bäuschen liegende das abgeleitete nennen. — Unter diesen eben gegebenen Bedingungen erfährt der Strom, der ursprünglich (vor Anlegung der Kette) im Nerven vorhanden war, eine Veränderung, und zwar eine Verstärkung, wenn der in das galvanisirte Stück geschickte Strom gleiche Richtung mit dem ursprünglichen (Nerven) Strom in der abgeleiteten Stelle besitzt und umgekehrt eine Schwächung oder gänzliche Umkehrung, wenn der erregende Strom das galvanisirte Stück in einer Richtung durchkreist, die entgegengesetzt von derjenigen ist, welche dem ursprünglichen Nervenstrome in dem abgeleiteten Stücke zukommt. Die Vermehrung (oder Verminderung) des Nervenstroms nennt

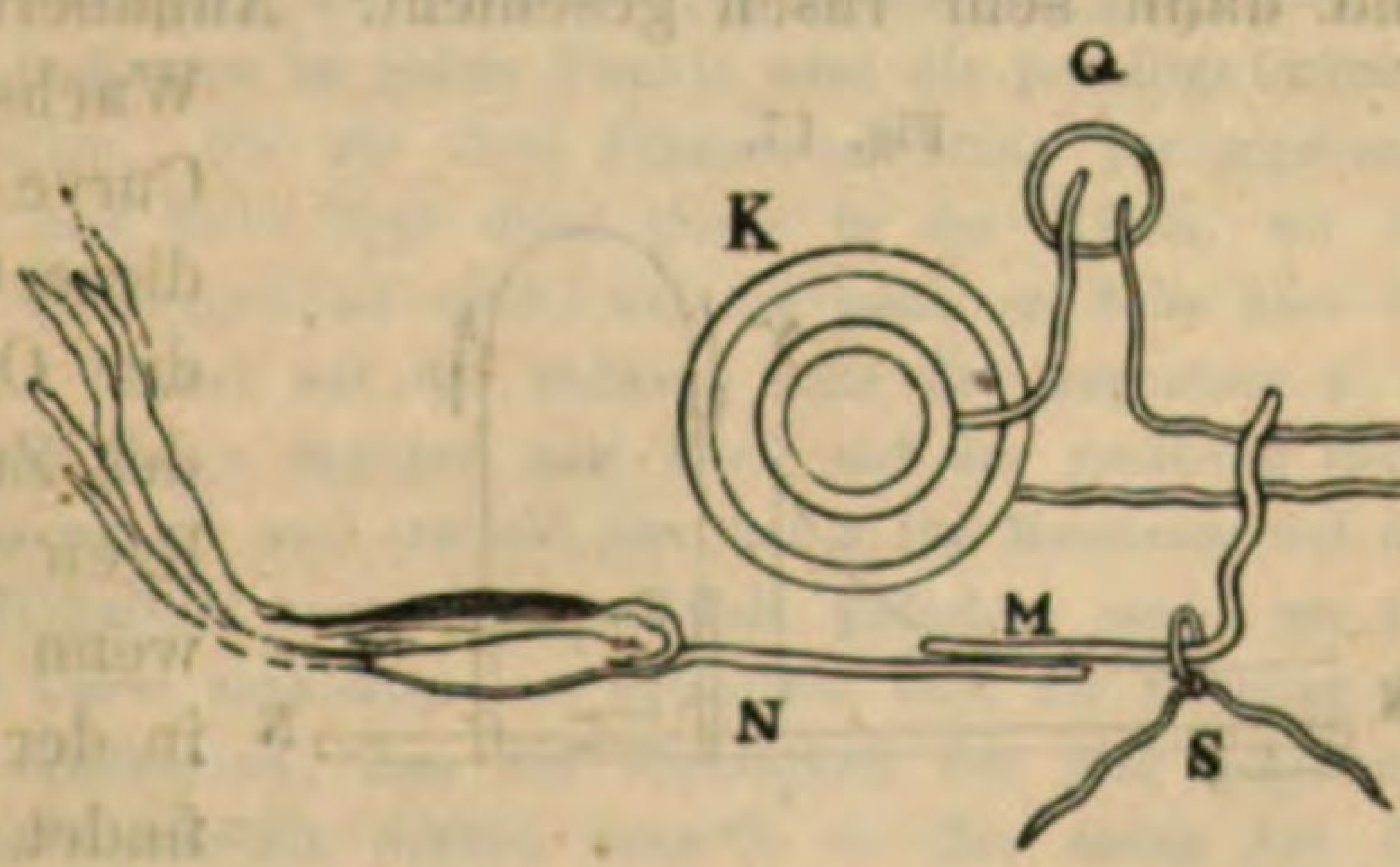
Fig. 15.



du Bois den electrischen Zuwachs, und der Nerv ist in der positiven Phase, wenn der Nerven- und erregende Strom gleichgerichtet sind (also der erstere verstärkt wird), und umgekehrt befindet sich der Nerv in der negativen Phase, wenn der ursprüngliche Strom des Nerven und der der Kette im entgegengesetzten Sinne laufen (also der erstere geschwächt wird). Der electrotonische Zuwachs tritt momentan mit dem Schluss der erregenden Säule ein, besteht so lange sie geschlossen und der Nerv erregbar bleibt, und verschwindet momentan mit ihrer Oeffnung, oder dem Absterben des Nerven.

Der Verdacht, der sich hier erheben könnte, als ob die beobachtete Nadelabweichung keine Folge der veränderten electrischen Eigenschaften des Nerven sei, sondern eine unmittelbare des erregenden Stromes, wird einfach durch die Erfahrung vernichtet, dass der electrotonische Zuwachs ausbleibt, so wie zwischen das erregte und das abgeleitete Stück ein befeuchteter Faden so fest um den Nerven geschnürt wird, dass beide Theile nicht mehr durch Nerveninhalt, sondern nur durch die Scheide und den nassen, also E leitenden Faden zusammenhängen. Ebenso sicher bleibt der electrotonische Zuwachs, wie überhaupt alle electrische Wirkung aus, wenn ein nicht mehr erregbares Nervenstück in gleicher Weise auf die Bäusche gelegt und gleichzeitig von erregenden Strömen durchkreist wird. — Der erregende Strom könnte in der That auf zweierlei Art direkt auf die Nadel wirken; einmal durch die Luft, was man verhütet, wenn man die Säule selbst entfernt von der Nadel aufstellt, und die von ihr zum Nerven gehenden umsponnenen Drähte umeinanderwickelt; oder durch Stromesschleifen, die sich von den an die Nerven angelegten erregenden Polen über die Enden des galvanisirten Nervenstücks hinaus erstrecken. Diese Schleifen werden vermieden oder auf einen sehr engen Raum beschränkt, wenn die Pole des erregenden Stromes aus feinen Drähten bestehen, und der Zwischenraum zwischen beiden nicht zu gross genommen wird. In diesem Fall kann man die Drähte des erregenden Stromes bis auf 2 M. M. den ableitenden Bäuschen nähern, ohne ein Uebergehen der Ströme aus dem erregenden in den Multiplikatorkreis zu gewahren.

Fig. 16.



Paradoxe Zuckung. Das Eintreten und Verschwinden des electrotonischen Zustandes lässt sich nach du Bois auch durch den stromprüfenden Froschschenkel darlegen. Man ordnet den Versuch nach dem Schema an, das Fig. 16 gibt. Den Nerven eines stromprüfenden, sehr lebenskräftigen Froschschenkels *N* legt man in innige Berührung mit einem noch möglichst erregbaren Nervenstück *M*, an dieses schlägt man bei *S* eine ganz lockere Schleife, so dass der Nerv in keiner Weise gedrückt wird, und an sein

Ende legt man ihn auf zwei sehr nahe stehende und sehr feine Drähte, welche mit der Säule *K* in Verbindung stehen. Der Schluss oder die Oeffnung der Säule geschieht durch die Herstellung oder Unterbrechung der Leitung in einem der Drähte, indem man zwei einander zugekehrte Enden desselben in ein Quecksilbernäpfchen *Q* taucht.

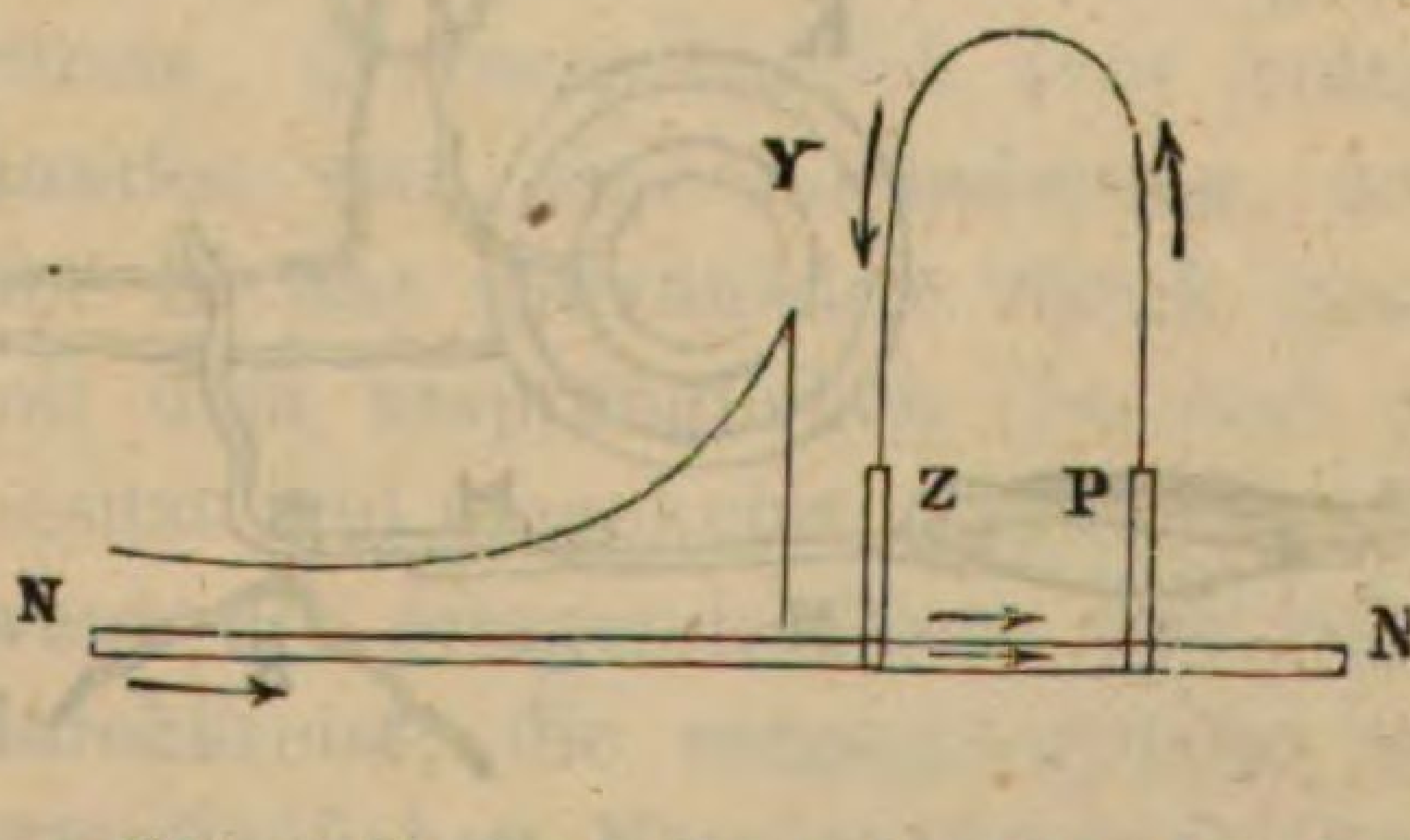
In dem Momente, wo die Schliessung oder Oeffnung der Kette erfolgt, tritt eine Zuckung in den Muskeln des Schenkels ein. Dass auch hier kein unmittelbares Uebertreten der Electrizität aus der Kette *K* in den Nerven *N* stattfinde, wird dadurch bewiessen, dass die Zuckung beim Schliessen und Oeffnen der Kette ausbleibt, wenn die Schlinge *K* des wohldurchfeuchteten Fadens *S* so fest zugeschnürt wird, dass der Inhalt des Nerven *M* zwischen der erregten und der mit dem Nerven *N* in Berührung befindlichen Stelle unterbrochen wird. Als Erregungsmittel des stromprüfenden Froschschenkels können also nur angesehen werden, die im Marke des erregten Nerven *M* anschwellenden und sinkenden electrischen Ströme im Momente der Schliessung und Oeffnung der Kette *K*.

Die Stärke des electrotonischen Zuwachses, resp. die durch ihn herbeigeführte Vermehrung der Nadelablenkung unter Voraussetzung einer gleichen Spannweite der ableitenden Bäusche des Multiplikators ist abhängig von folgenden Umständen:

a) Der Zuwachs erscheint bei Auflegung der ursprünglich unwirksamen oder schwachen Anordnungen des Nerven sehr viel beträchtlicher, als beim Auflegen der ursprünglich kräftigen Anordnung des Nerven. Diese Behauptung wird dadurch gerechtfertigt, dass während des electrotonischen Zustandes die von zwei verschiedenen Orten des Längenschnitts abgeleiteten Ströme fast so beträchtlich sind, als die von der Oberfläche und dem Querschnitte abgeleiteten.

b) Die Stärke des Zuwachses steigert sich mit der Annäherung an die Electroden des erregenden Kreises; diese Zunahme geht aber nicht direkt proportional mit der Annäherung an den erregenden Kreis, sondern so, dass aus einer grössern Entfernung von den erregenden Electroden an gezählt das Steigen zuerst sehr allmälig und dann sehr rasch geschieht. Annähernd wird das Gesetz des Wachsthums durch die folgende Curve (Fig. 17) dargestellt; in dieser Curve bedeuten die Höhen der Ordinaten *y* die Stärken des Zuwachses auf der jeweiligen Stelle des Nerven *N*, wenn die erregende Kette *ZP* in der gegebenen Stellung sich findet.

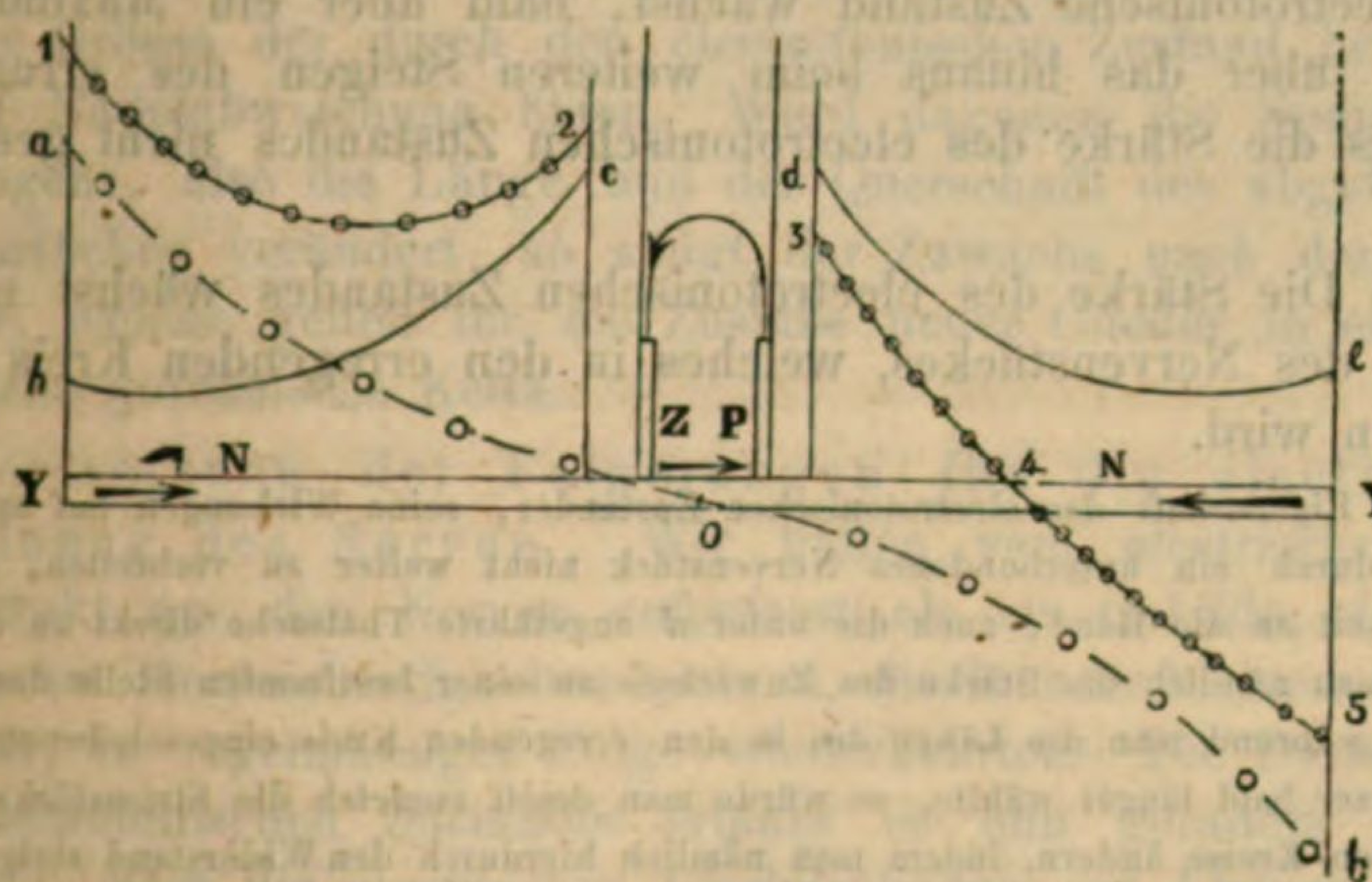
Fig. 17.



Die Auffindung dieses Gesetzes der Veränderung des electrotonischen Zuwachses auf der Länge des Nerven, die besondere Schwierigkeiten bietet, ist auf zwei Wegen

möglich. Entweder man verrückt auf den Bäuschen die abgeleitete Stelle und lässt die erregende unverändert; in diesem Fall misst man die Resultirende aus den zweien mit der Länge der Nerven veränderlichen Grössen, nämlich der des ursprünglichen Nervenstromes und der des electrotonischen Zuwachses, da, wie besonders hervorzuheben, der Nerv im electrotonischen Zustand auch noch dem Gesetze des ursprünglichen Nervenstromes unterworfen ist. In diesem Fall wird also die Curve der scheinbaren, (d. h. der am Multiplikator sichtbaren) Stromstärke auf dem Nerven so sein, wie sie Fig. 18 darstellt. Diese Curve ist folgendermaassen zu verstehen: *aob* ist die

Fig. 18.



Curve des Nervenstromes, d. h. die Ordinaten *aY* bis *bY* bedeuten die Wechsel in der Grösse der Ausschläge, welche man erhält, wenn man über den Nerven, bevor er im electrotonischen Zustande war, mit jedesmal gleichweit entfernten Bäuschen hingeht. Die Darstellung, dass von *a* bis *o* die Ordinaten positiv und von *o* bis *b* negativ sind, bedeutet die Umkehr des Stromes, wie sie auch durch die Pfeile im Nerven *N* angedeutet ist. *hc* und *de* bedeuten die Veränderung in dem Werthe des electrischen Zuwachses, wenn der Strom, den die Elektroden *PZ* durch den Nerven schicken, in der Richtung des Pfeiles durch ihn geht, der zwischen den Elektroden gezeichnet ist. Die algebraische Summe beider Ordinaten an jedem Punkte wird die jeweilige Ordinate der Resultirenden beider darstellen. Die aus ihrer Zusammenstellung hervorgehende Curve ist 1. 2. 3. 4. 5. Wie man sieht liegt diese Curve in der Hälfte, wo der Nerven- und erregende Strom gleichgerichtet sind, auf der positiven Seite über der Curve des Nervenstroms (positive Phase), auf der anderen Seite des Aequators *o*, in der negativen Phase, liegt unsre Curve dagegen zum Theil auf der positiven Seite, schneidet aber bei 4 die Abszissenachse und erreicht nun bei 5 ihr Maximum auf der negativen Seite. Obwohl die Hilfsmittel noch nicht so weit gediehen sind, um aus den Messungen mit Schärfe die Curve abzuleiten, so entspricht doch die Messung der theoretischen Entwicklung so annähernd, dass die Richtigkeit der hier gegebenen Vorstellung vom Zuwachs nicht bezweifelt werden kann*). — Die andre Art der

*) Die um ein kleines geringere Stärke, welche der elektrotonische Zuwachs in der negativen Phase constant gegen den der positiven Phase zeigt, ist hier vernachlässigt worden.

Messung gewinnt den Werth des electrotonischen Zuwachses auf direkterem Weg, indem sie den Ort des abgeleiteten Nervenstücks unverändert lässt, dagegen den erregenden Strom dem auf den Bäuschen liegenden Nerven bald nähert und bald von ihm entfernt. In diesem Fall wird begreiflich die vom Nervenstrom herrührende Veränderlichkeit beseitigt. Auch diese Messung bestätigt die im Text gegebene Curve des Zuwachses.

c) Die Abhängigkeit des electrotonischen Zustandes von der Dichtigkeit und Stärke des erregenden Stromes gestaltet sich so, dass ursprünglich mit dem Steigen des erregenden Stromes auch der electrotonische Zustand wächst, bald aber ein Maximum erreicht, über das hinaus beim weiteren Steigen des erregenden Stromes die Stärke des electrotonischen Zustandes nicht gesteigert wird.

d) Die Stärke des electrotonischen Zustandes wächst mit der Länge des Nervenstückes, welches in den erregenden Kreis eingeschoben wird.

Die Eigenschaft des electrotonischen Zustandes, seine Wirkungen auf anliegende Theile durch ein unterbundenes Nervenstück nicht weiter zu verbreiten, gibt die Möglichkeit an die Hand, auch die unter *d* angeführte Thatsache direkt zu erweisen. Wollte man nämlich die Stärke des Zuwachses an einer bestimmten Stelle des Nerven prüfen, während man die Länge des in den erregenden Kreis eingeschobenen Stückes bald kürzer bald länger wählte, so würde man damit zugleich die Stromstärke in dem erregenden Kreise ändern, indem man nämlich hierdurch den Widerstand steigerte und schwächte. Um diese Fehler zu vermeiden, lässt du Bois die Länge des Nervenstückes zwischen den Polen der Säule unverändert, unterbindet aber, nachdem er vorher die Stärke des Zuwachses festgestellt hat, den Nerven in der Mitte zwischen beiden Polen, wodurch die Hälfte des erregten Nervenstücks seine Wirksamkeit für die Vermehrung des electrotonischen Zustandes im abgeleiteten Nervenstück verliert.

e) Die Stärke des electrotonischen Zuwachses ist vom Winkel abhängig, welchen der erregende Strom mit der Längenachse des Nerven bildet; wird der erregende Strom unter einem rechten Winkel zur Längenachse des Nerven durchgeleitet, so tritt gar kein electrotonischer Zustand ein, während dieser letztere, alles Andere gleichgesetzt, im Maximum erscheint, wenn die Stromrichtung in die Längenachse des Nerven fällt.

Du Bois hat sich, wie aber auch ohne Bemerkung vorausgesetzt werden dürfte, überzeugt, dass die bei dem zuerst erwähnten Versuch immer nur geringe Länge des einschiebbaren Nervenstückes nicht den Grund für das Ausbleiben des electrotonischen Zustandes abgibt.

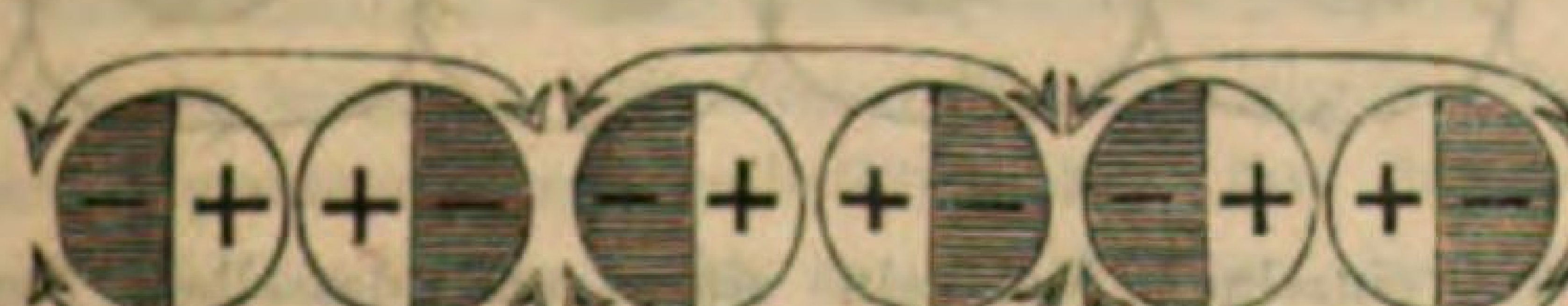
f) Die Grösse der vorhandenen physiologischen Leistungsfähigkeit des Nerven bestimmt endlich die Stärke des electrotonischen Zuwachses. Je frischer und lebenskräftiger der Nerv ist, welcher

dem Einfluss der Kette unterworfen ward, um so beträchtlicher wird der Zuwachs; aus diesem Grund nimmt nun auch in der Kette, durch welche die Erregbarkeit des Nerven geschwächt wird, und zwar um so rascher, je intensiver und dichter der in ihr kreisende Strom ist, die Stärke des electrotonischen Zuwachses fortwährend ab, und sinkt auf Null, wenn die physiologische Leistungsfähigkeit verschwunden ist.

Bisher sind die Umstände betrachtet, welche unter Voraussetzung einer gleichen Spannweite des ableitenden Bogens einen Einfluss auf die Grösse der durch den electrotonischen Zustand herbeigeführten Nadelabweichung übten. Ward dagegen die Spannweite des Bogens, also die Länge und der Querschnitt des abgeleiteten Nervenstückes verändert, so steigt der Zuwachs nach denselben Regeln, welche gelten für die Zusätze neuer Glieder in eine gewöhnliche galvanische Kette.

Fortsetzung der Folgerungen für die electrische Anordnung des Nerven. Wir hatten vom electrischen Gesichtspunkt aus den Nerven aufgefasst als ein Gebilde, das aus electrischen Ungleichartigkeiten bestand, die in sehr kleinem Raume vertheilt, in regelmässiger Folge wiederkehrten. Die Darstellung des electrotonischen Zustandes erlaubt es nun geradezu auszusprechen, dass die electrischen Ungleichheiten auf kleinste Theilchen irgend welcher Form, electrische Moleküle, vertheilt sind, welche in verschiedenen Zuständen des Nerven verschiedene Stellungen einnehmen können. In dem ruhigen Zustand des lebenden Nerven liegen je zwei dieser Moleküle mit ihren gleichnamigen Enden einander zugekehrt, so dass aus beiden scheinbar ein Gebilde mit einer positiven Zone und zwei negativen Polen entsteht (Peripolarer Zustand). In dem electrotonischen Zustande sind die Moleküle dagegen so geordnet, dass sie sich immer die ungleichnamigen Pole zuwenden (dipolarer Zustand, säulenartige Polarisation). Folgende Figuren geben die bildliche Vorstellung; in ihnen ist, um

Fig. 19.



Peripolarer Zustand.

das Verhalten der Nerven auf Quer- und Längsschnitt klar zu machen, das Rohr nur mit einer Reihe von Molekülen (obwohl es

ihrer in Wirklichkeit auch auf dem Querdurchmesser zahllose sein müssen) erfüllt gedacht worden.

Fig. 20.

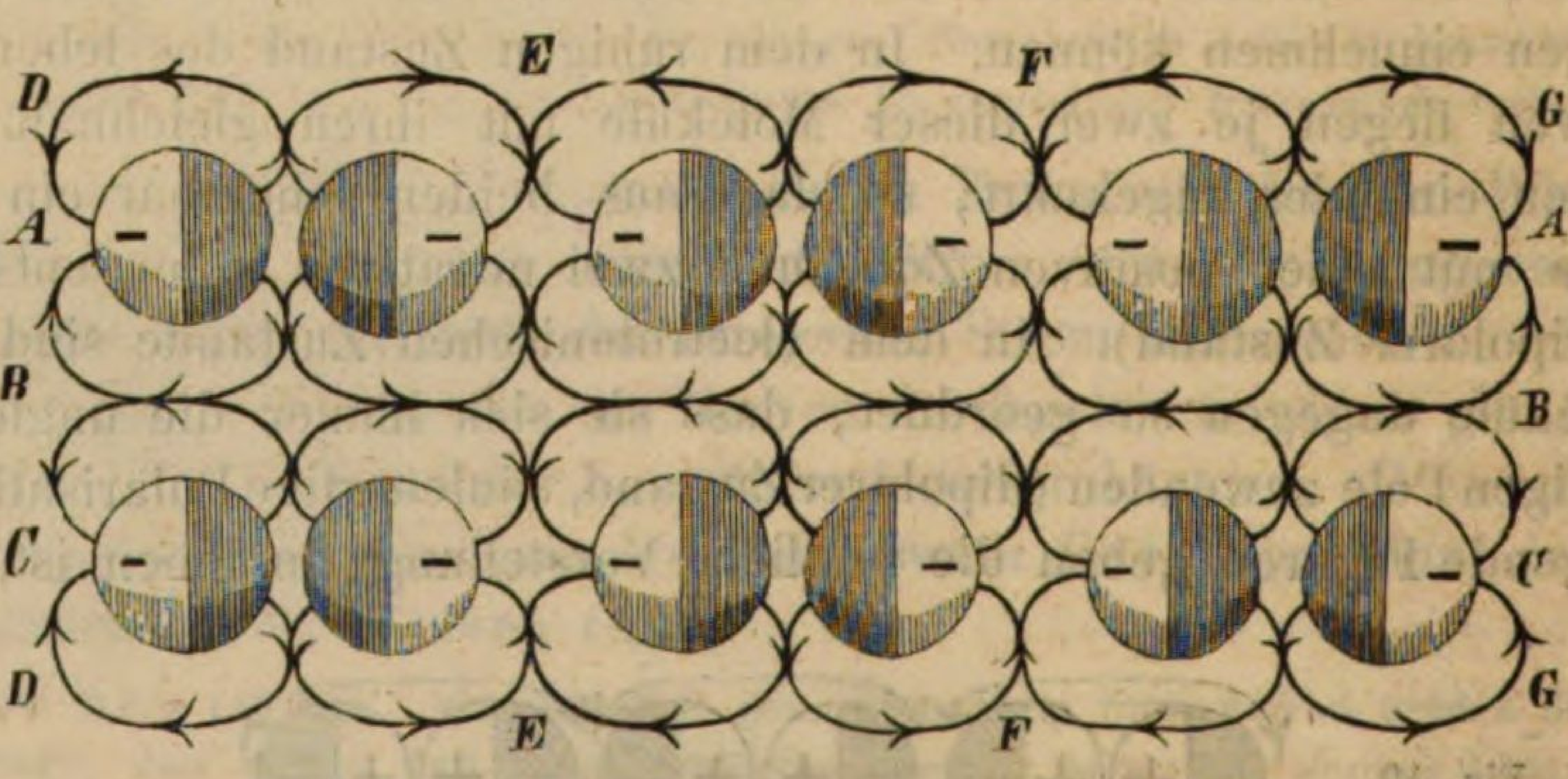


Die Gründe für diese Vorstellung liegen einfach darin, dass diese Anordnungen allen gefundenen Thatsachen Genüge leisten. Die fixirte Vertheilung der Ungleichheiten auf bewegliche Molekeln wird namentlich durch die momentan eintretenden Stromesveränderungen verlangt.

Es darf nicht unterlassen werden im Einzelnen zu zeigen, wie weit die vorausgesetzte electrische Molekularstruktur genügt, die abgeleiteten Strömungserscheinungen zu erläutern.

1. Peripolare Anordnung. Bei ihr setzt man, wie schon erwähnt, voraus, dass je zwei einfache an ihren Enden mit + und — E versehene Molekeln sich verbinden zur Darstellung eines zusammengesetzten, oder peripolaren Molekels; dieses geschieht in der Art, dass je zwei derselben ihre mit + E behafteten Enden einander zukehren, wodurch das zusammengesetzte Molekel eine positive Aequatorial- und zwei negative Polarzonen gewinnt. Treten diese Molekeln zur Bildung von Nerven zusammen, so betten sie sich in einen indifferenten Leiter, (die Nervenflüssigkeit) und zwar so ein, dass der Zwischenraum, welcher zwischen je zwei peripolaren Molekeln bleibt, den übertrifft, welcher die beiden einfachen Molekeln desselben trennt, wie dieses in Fig. 21 dargestellt ist. Zu diesen Annahmen fügt man noch als eine sehr wahrscheinliche die, dass die einzelnen Molekeln eines und desselben Nervenstücks gleiche electromotorische Kraft besitzen, d. h. dass die Unterschiede der electrischen Spannung zwischen Aequatorial- und Polarzone auf allen Molekeln die gleichen sind. — Unter diesen Voraussetzungen wird ein jedes peripolare Molekel durch die gesammte Flüssigkeit des betrachteten Nervenstücks Ströme schicken, welche von der positiven Aequatorialzone aus- und in die negative eingehen. Denken wir uns nun die Flüssigkeit

Fig. 21.



zerlegt in unendlich viele Elementarfäden, von denen ein jeder einen Strom in der soeben bezeichneten Richtung erhält, so haben wir damit jenen Gesammtstrom in eine unendliche Zahl von Stromfäden (Partialströmen) zerlegt, von denen ein jeder durch eine besondere Stromstärke ausgezeichnet ist. Die so eben hervorgehobene Verschiedenheit in der Stärke aller Partialströme rührt daher, dass bei gleicher electomotorischer Kraft, welche alle Ströme einleitet, die Länge des Wegs, welchen jeder einzelne zurückzulegen oder was dasselbe bedeutet, der Leitungswiderstand, den er zu überwinden hat, für einen jeden ein anderer ist; die Ströme kürzerer Bahn werden also stärker sein, als die von längerer. — Was nun von einem, gilt natürlich von allen Molekeln und demnach wird jeder Elementarfaden der Flüssigkeit von soviel Strömen durchzogen, als Molekeln in dieser letzteren vorhanden sind, Ströme, welche sich natürlich zu einem resultirenden Strom zusammensetzen. Die Richtung und Stärke dieses abgeleiteten Stromes wird, nach Smaasen, du Bois und Helmholtz*) gefunden, wenn man die Stärke aller Ströme unter Berücksichtigung ihres Vorzeichens addirt. Gehen also alle Ströme nach einer Richtung, so ist der aus ihnen resultirende Strom gleich der Summe aller Einzelströme, und wenn umgekehrt die Ströme in entgegengesetzter Richtung kommen, so ist der resultirende gleich dem Unterschiede der entgegengesetzt gerichteten Stromstärken; wäre demnach in dem letzten Falle die der Stärke aller Ströme, welche von rechts nach links gehen, gerade so bedeutend, wie die aller derjenigen, die von links nach rechts laufen, so würde der resultirende Strom gleich Null sein. — Mit Hilfe dieses Satzes lässt sich aus den obigen Voraussetzungen leicht zeigen, dass sich ein grosser Theil von den im Innern der Nerven (zwischen den einzelnen Molekeln) verlaufenden Partialströmen aufheben. Zu diesem Ende fassen wir zuerst den Partialstrom in das Auge, den ein jedes peripolare Molekel durch die Linie schickt, welche den feuchten Leiter zwischen je zwei Molekeln halbirt. Diese Linien sind in der horizontalen Reihe der Fig. 21 durch *DG* und *BB* und in der darauf senkrechten durch *DD*, *EE*, *FF*, *GG* bezeichnet. Die von den einzelnen Molekeln in diese Linie einkehrenden Partialströme sind durch die mit Pfeilen versehenen Striche dargestellt. Verfolgt man nun auf den erwähnten Halbirungslinien des Leiters die Ströme, so sieht man sogleich, dass auf der horizontalen, wie auf der vertikalen die Pfeile wechselsweise einander entgegengerichtet sind, da aber zugleich diese Partialströme wegen gleichen Widerstandes gleich gross sein müssen, so wird nothwendig ihre Resultirende Null sein. — Was aber für diesen Partialstrom erwiesen wurde, passt auch sogleich auf die Resultirende aus der Summe aller partiellen Ströme, welche sich von benachbarten Molekeln in ein und dieselbe Flüssigkeitsmasse ergiessen. Denn offenbar hat die Summe aller Ströme, welche von einen Molekel ausgehen (dessen Gesammtstrom), dieselbe Richtung, wie die betrachteten Partialströme, also durchkreuzen sich regelmässig die Gesammtströme der benachbarten Molekeln; ausserdem haben aber die einander entgegengesetzt gehenden auch gleiche Intensität, da bei allen Molekeln gleiche electromotorische Kraft vorausgesetzt wurde, und der Widerstand des Gesammtstromes für ein jedes der betheiligten Molekeln gleich sein muss, da sie in dieselbe Bahn (in die gesammte umgebende Flüssigkeit) ihre Bewegung ergiessen.

Etwas anders verhält sich die Sache an den Grenzen eines Molekelhaufens, resp. des Nervenrohrs, indem hier, wie unser Schema darthut, Orte verhanden sind, in denen die aus den Theilströmen resultirende Bewegung keineswegs aufgehoben wird. Ziehen

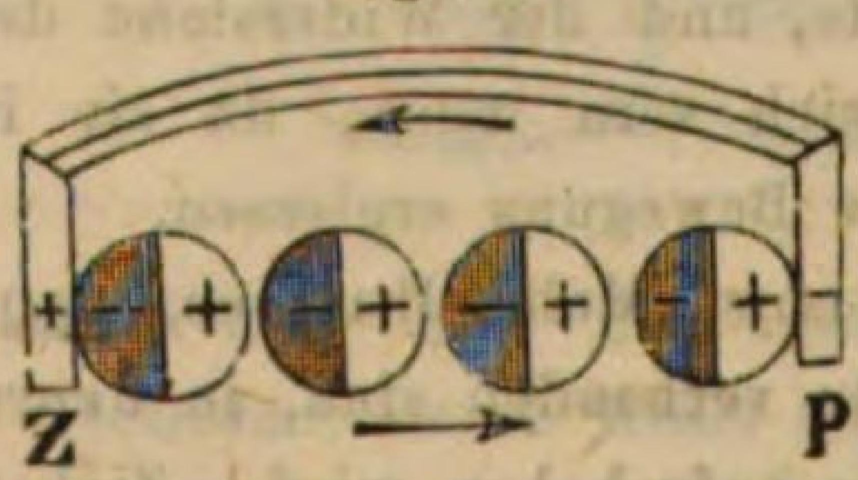
*) Poggendorf's Annalen 99. Bd. 211.

wir dasselbe zu Rathe, um die Frage aufzulösen, wie sich die von der Oberfläche ableitbaren Ströme verhalten, so sehen wir sogleich ein, dass ein gleichzeitig auf den Längenschnitt *DG* und die Querschnitte *DD* oder *GG* angelegter Leiter Ströme vom ersteren zum letzteren führen müsse, da auf dem erstern überall positiv und auf dem letztern überall negative Spannung vorhanden ist. Insofern ist also die Theorie in Uebereinstimmung mit der Beobachtung. — Unerklärt lässt sie es dagegen, wie ein Strom in einem feuchten indifferenten Leiter zu Stande komme, der entweder nur auf dem Längen- oder nur auf dem Querschnitt angelegt wird. Denn auf jeder von beiden Seiten ist nur negative oder nur positive Spannung vorhanden, und zwar eine solche, die nur in sehr beschränkten Räumen ungleichen Werth besitzt, während die mittlere Spannung von einem jedem Molekel die gleiche ist. Bringt man also einen feuchten Leiter in Anwendung, welcher gleichzeitig viele Molekeln berührt, so würde bei der von uns vorausgesetzten Molekularstruktur gar kein Strom durch ihn abgeleitet werden können, da seine beiden Enden gleich positiv oder gleich negativ erregt wurden. Ebensowenig ist es aus der vorgetragenen Theorie erklärlich, warum die Dimensionen des Nerven einen Einfluss auf die Stärke des abgeleiteten Stromes gewinnen. (Helmholtz.)

Jedenfalls hat man sich zu merken, dass aus der Stärke des abgeleiteten Stromes gar kein einfacher Schluss auf die Grösse der electrischen Wirkungen innerhalb der Nerven gemacht werden kann, da durch den zum Multiplikator abgeleiteten Stromarm nur eine Spur der gesammten Electrizität strömt, die unter unsern Voraussetzungen im Nerven selbst sich hin und herbewegt.

2. Dipolare Anordnung. — Die Gründe, welche die Annahme vertheidigen, dass unter dem Einfluss eines constanten galvanischen Stromes die electrischen Molekeln des Nerven aus der peripolaren Lage in die dipolare übergehen, sind theils den Beobachtungen am Multiplikator entnommen, theils stützen sie sich auf Folgerungen aus anderweitig bekannten Wirkungen der galvanischen Ströme. Die Thatsache, dass der Nerv während des electrotonischen Zustandes auch von solchen Stellen seines Verlaufes, die während der Anwesenheit des ruhenden Nervenstroms keine Nadelablenkungen herbeiführen, Ströme von einer solchen Stärke ausschickt, wie sie sonst nur zwischen Quer- und Längenschnitt vorkommen, erweisst, dass auf diesen Stellen nunmehr eine Lagerung der Molekeln eingetreten sein muss, die eine eben so starke Spannung herbeiführt, wie sie früher nur zwischen Quer- und Längenschnitt bestand; mit andern Worten, es müssen hier + und — Theilchen mit einander abwechseln. Da nun aber rings um den Nerven, aller Orten, wo man auch die ableitenden Bäusche anlegen mag, die starken Ströme erscheinen, so muss in sehr kleinen Abständen das + und — mit einander wechseln. Die Theorie, welche du Bois in Folge dieser Thatsachen gibt, empfängt ihre Bekräftigung, wenn man den Hergang am Nerven mit den electrolytischen Wirkungen vergleicht. Bekanntlich erläutern sich sowohl die Zersetzungserscheinungen, welche ein electrischer Strom in zerlegbaren Flüssigkeiten herbeiführt, als auch die Stromleitung durch dieselben vollkommen, wenn man annimmt, dass die zwischen den Polen gelegenen chemischen Atome ihre negative Seite gegen die positive Electrode und ihre positive gegen die negative Electrode wenden. Diese aus der Physik bekannte Darstellung ruft beistehende Fig. 22 in das Gedächtniss zurück.

Fig. 22.

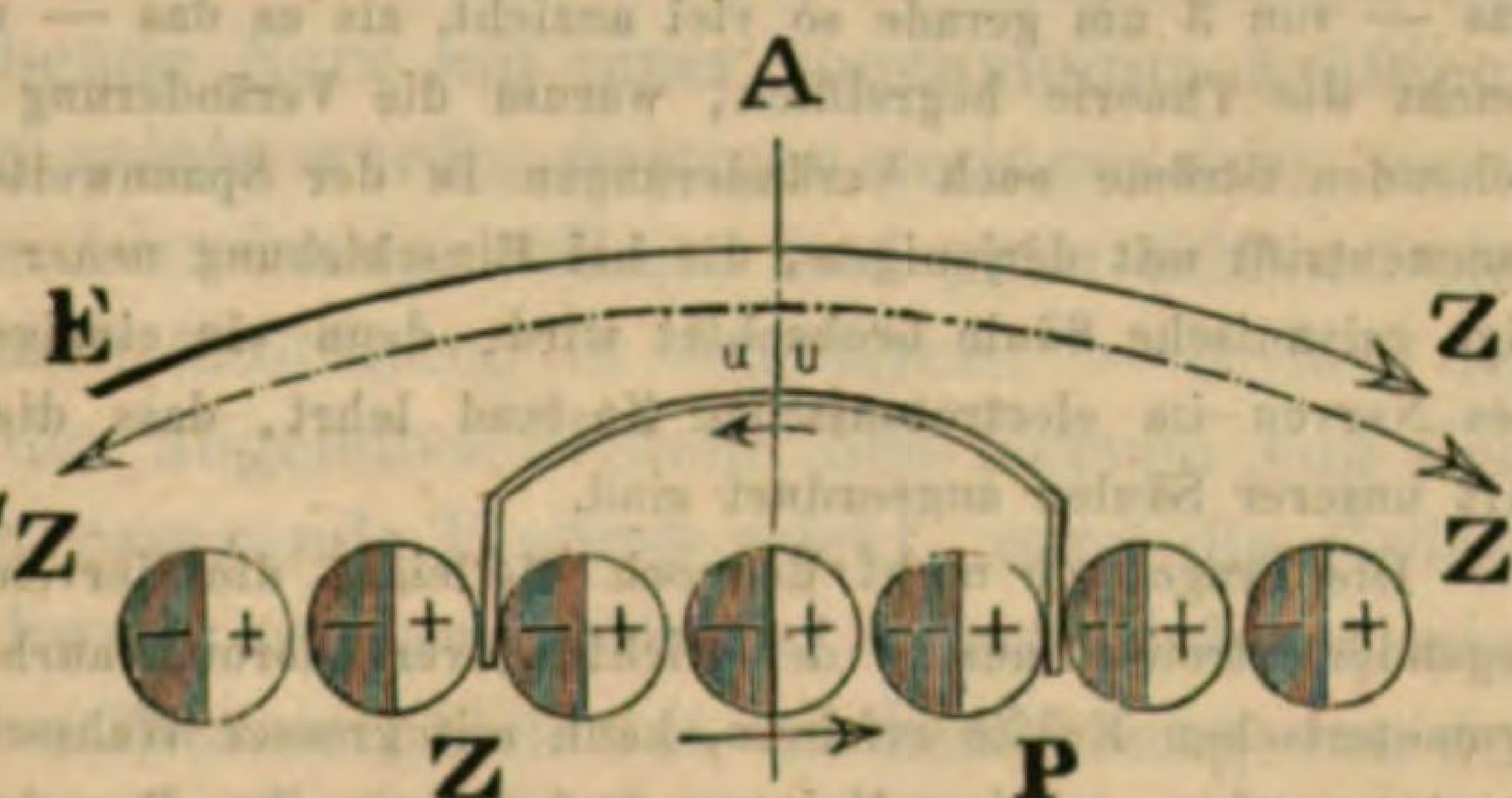


— Ueberträgt man diese Vorstellung einfach auf den Nerven, während sich ein Theil seiner Länge in einer geschlossenen Kette befindet, so müssen die zwischen den Polen dieser letztern gelegenen Molekeln in gleicher Weise geordnet

werden. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Vorgängen, dem physiologischen und physikalischen, besteht darin, dass im electrotonischen Nerven die Molekeln auch noch jenseits der Pole der geschlossenen Kette, wohin ihr Strom nicht mehr reicht, geordnet werden, was in der electrolysirbaren Flüssigkeit nicht geschieht, eine Annahme, die durch Fig. 23 versinnlicht wird. Die Möglichkeit dieses Geschehens scheint darin zu liegen, dass die Molekeln des Nerven leichter zu elektrolysiren (oder zu polarisiren) sind, als andere complizirte Atome, so dass die innerhalb des Nerven liegenden und schon gerichteten Molekeln wieder richtend auf die anliegenden wirken können. Diesen gegenseitig richtenden Einfluss sind sie jedoch nur bei unmittelbarer Berührung auszuüben im Stande, wie die oben erwähnten Versuche erweissen.

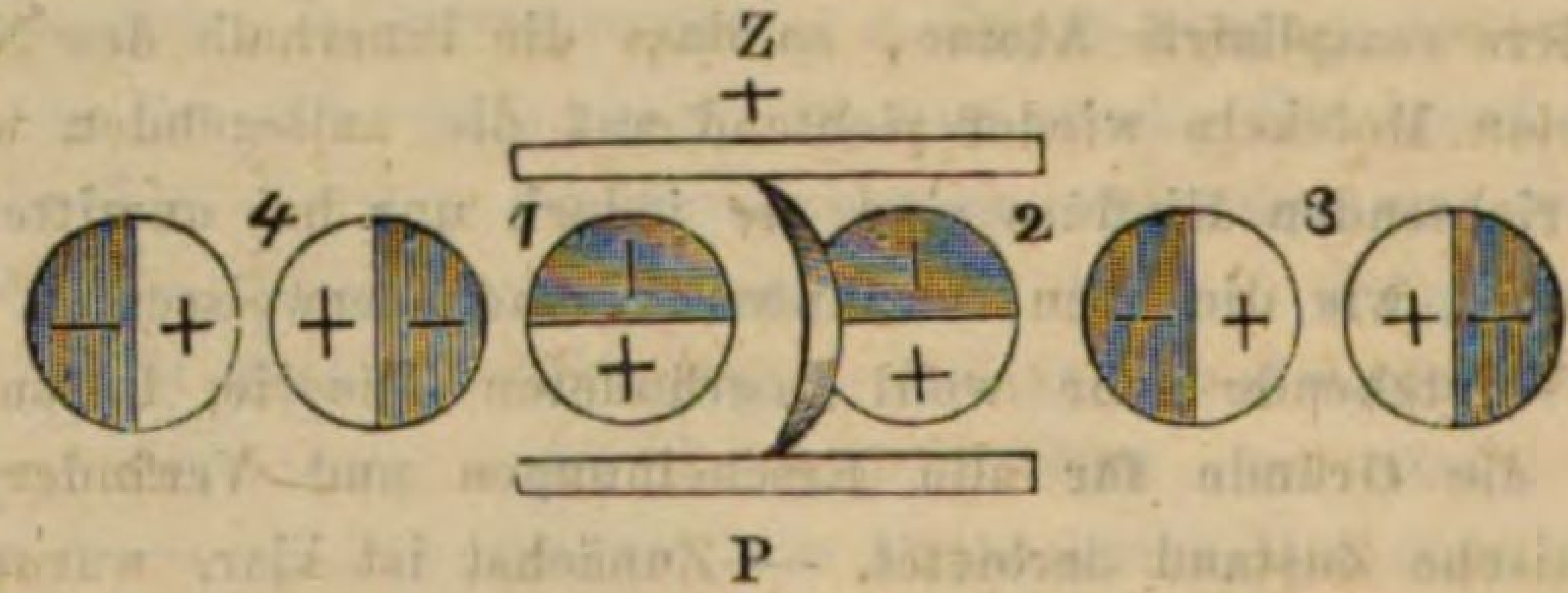
Aus dieser durch das Vorstehende sehr wohl begründeten Theorie, lassen sich nun auch mit aller Schärfe die Gründe für alle Erscheinungen und Veränderungen einsehen, die der electrotonische Zustand darbietet. — Zunächst ist klar, warum der Zuwachs, den der Nervenstrom während des electrotonischen Zustandes erfährt, auf der einen Seite des erregenden Stromes positiv und auf der andern negativ sein muss. Dies ergibt sich sogleich aus der Betrachtung von Fig. 23. Wir wollen mit dieser annehmen, dass die Pole des erregenden Stromes genau symmetrisch zum Aequator *A* stehen und dass die von ihm ausgehende Stromesrichtung durch den Nerven mit dem Pfeile *ZP* laufe; im Sinne dieser Richtung werden alle Molekeln geordnet, so dass ein Strom nach dem obersten Pfeil *EZ* durch die Nervenflüssigkeit geht. Vor dem Eintreten des electrotonischen Zustandes verliefen aber in dem Nerven von dem Aequator *A* zwei Ströme in entgegengesetzter Richtung nach den Pfeilen $u Z^1$ $u Z^2$. Vergleichen wir beide, den Strom des electrotonischen Zustandes und den Strom des ruhenden Nerven, so sehen wir, dass $u Z^2$ und der neue Strom in gleicher Richtung gehend, sich verstärken werden (positive Phase), während $u Z^1$ und der Strom des dipolaren Zustandes entgegengesetzt verlaufend, sich schwächen werden (negative Phase). Diese Erklärung vernachlässigt nun aber scheinbar die Thatsache (Seite 85), dass das Gesetz des ursprünglichen Nervenstromes noch sichtbar ist, wenn der electrotonische Zustand eingetreten. Wenn in der That der Nervenstrom von der peripolaren Lagerung der Molekeln abhängt, so muss er momentan verschwinden, so wie die dipolare Anordnung eingetreten; dieser Widerspruch löst sich aber sehr einfach unter der Voraussetzung, dass in den untersuchten Fällen des electrotonischen Zustandes die Drehung der Molekeln eine nur unvollkommene gewesen; wenn also die neue Stellung die Mitte hielt zwischen der peripolaren und der dipolaren, so muss in der That die Strömungserscheinung ebenfalls die Resultirende beider sein. — Aus der vorgetragenen Theorie erhellt weiterhin, warum bis zu gewissen Grenzen mit der Stärke und Dichtigkeit des erregenden Stroms die Ausbildung des dipolaren Zustandes wächst, über diese Grenze hinaus aber durch noch weitere Steigerung des erregenden Stromes die Intensität des electrotonischen Zuwachses nicht vermehrt werden kann. Denn begreiflich wird der electrotonische Zustand um so ausgeprägter

Fig. 23.



auftreten, je energischer die richtenden Kräfte des erregenden Stromes einwirken; sind aber einmal die Molekeln vollkommen dipolar gestellt, so wird durch weitere Verstärkung der richtenden Kräfte keine höhere Steigerung des dipolaren Zustandes möglich sein. — Ferner wird aus der Theorie klar, warum der erregende Strom keine dipolare Anordnung hervorruft, wenn er den Nerven senkrecht gegen seine Längenachse durchsetzt. Denn geht, wie in Fig. 24, der Strom von *Z* nach *P* durch den Nerven, so wird er zwar die zwischen den Polen liegenden peripolaren Molekeln dipolar anordnen. Diese selbst werden aber die nebenliegenden aus ihrer ursprünglichen Lage nicht bewegen können, weil, wie die Betrachtung von Molekel 2 und 3, oder 1 und 4 lehrt, das + von 2 das — von 3 um gerade so viel anzieht, als es das — von 2 abstösst. — Schliesslich macht die Theorie begreiflich, warum die Veränderung der durch den Multiplikator gehenden Ströme nach Veränderungen in der Spannweite des abgeleiteten Bogens zusammentrifft mit derjenigen, die bei Einschiebung neuer Elemente in eine mehrgliederige galvanische Säule beobachtet wird; denn ein einziger Blick auf alle Zeichnungen des Nerven im electrotonischen Zustand lehrt, dass die Molekeln in ihm ganz nach Art unserer Säulen angeordnet sind.

Fig. 24.



Die Frage, ob nicht dennoch vielleicht die Nerven unter dem Einfluss des erregenden Stromes ausser der Richtungsveränderung auch eine Verstärkung ihrer electromotorischen Kräfte erfahren, kann mit grosser Wahrscheinlichkeit verneinend beantwortet werden. — Diese Meinung findet darin ihre Berechtigung, dass der ursprüngliche Strom zwischen der Oberfläche und dem Querschnitte nur eine geringe Steigerung erfährt und namentlich, dass dieser Strom in der negativen Phase nicht umgekehrt wird, was doch eintreten müsste, wenn der (negative) Zuwachs grösser, als der ursprüngliche (positive) Nervenstrom gewesen wäre. Die scheinbare Stärke des Stromes im electrotonischen Zustand findet auch darin ihre hinreichende Erklärung, dass die dipolare Anordnung vieler Elemente weit geeigneter ist, eine Resuldirende nach aussen zu senden, als die peripolare Anordnung.

Der Anfänger ist hier zugleich auf die grosse Uebereinstimmung in der Magnetisirung des weichen Eisens und der Polarisirung der Nerven durch den electrotonischen Strom hingewiesen, die an diesem Orte nicht weiter ausgeführt werden kann.

4. Electrisches Verhalten des Nerven, während er sich in einem Zustande befindet, der ihn zur Einleitung der Empfindung, Muskelbewegung und Absonderung befähigt. Negative Stromesschwankung. Der Winkel, um welchen die Nadel durch ein in den Multiplikatorenkreis eingeschaltetes lebendes Nervenstück abgelenkt wurde, erfährt eine Verkleinerung, wenn der Nerv durch irgend ein Mittel in einen Zustand versetzt wird, der eine sogenannte physiologische Leistung (Empfindung, Bewegung, Absonderung) herbeiführen würde, vorausgesetzt, dass der Nerv noch in seinen normalen Verbindungen stände; mit andern Worten, die durch den

ruhenden Nervenstrom aus ihrer Gleichgewichtslage getriebene Nadel kehrt gegen ihre Gleichgewichtsstellung zurück, sobald der Nerv erregt wird; die diesem Rückschlag der Nadel zu Grunde liegende Bewegung der Nervenmoleküle bezeichnet du Bois mit dem Namen der negativen Schwankung. In dieser neuen Stellung verharrt die Nadel jedoch nur so lange, als der Nerv im erregten Zustand erhalten wird; mit seinem Aufhören treten die Wirkungen des ruhenden Nervenstroms wieder hervor.

Die Grösse dieser Rückschwankung ist abhängig von folgenden Umständen. a. Sie geht proportional dem Ablenkungswerth, den der ruhende Nervenstrom hervorbrachte. Darum wird ein mehr erregbarer und auch ein dickerer Nerv sie stärker veranlassen, als ein minder erregbarer oder dünnerer; und ferner wird sie grösser ausfallen, wenn der ruhende Nerv mit einer sogenannten kräftigen Anordnung in den Kreis gelegt wurde, dagegen geringer sein, wenn er mit einer schwachen Anordnung auflag, und ganz fehlen beim Einfügen der unwirksamen Anordnung in den Kreis. — b. Mit der steigenden Entfernung der abgeleiteten Stelle des Nerven von derjenigen, an welcher der erregende Einfluss wirkt, wird die Grösse der electronegativen Schwankung geschwächt. Diese Schwächung geht jedoch nicht in dem Maasse rasch mit der Entfernung von der erregten Stelle vor sich, wie dieses beim electrotonischen Zuwachs der Fall war. — c. Die Grösse der Rückschwankung wächst mit der Stärke der Erregung. Rücksichtlich dieses Punktes muss man im Auge behalten, dass die Untersuchungsmethoden bislang nur erlaubten, die durch electrische Ströme in den Muskelnerven erzeugten Erregungsstärken mit den electronegativen Schwankungen in befriedigender Schärfe zu vergleichen.

Da die Stösse, welche der Nerv in der electronegativen Schwankung seiner Molekeln der Nadel mittheilt, sehr schwach sind, so müssen dieselben längere Zeit auf die Nadel wirken, um einen deutlichen Rückschwung zu erzeugen, oder anders ausgedrückt, es muss der Nerv in einer längere Zeit hindurch andauernden Erregung erhalten werden. Unter den bekannten Hilfsmitteln können wir eine solche vorzugsweise nur durch den electrischen Strom erzeugen; indem wir diesen aber auf den Nerven einwirken lassen, versetzen wir seine Molekeln in den electrotonischen Zustand, der auf die Nadel wirkend, die zarteren Folgen der electronegativen Schwankung verwischen würde. Um diese letztere rein zu erhalten, genügt es aber einfach den Nerv durch abwechselnd gerichtete Schläge (mit einer im Nerven bald auf- und bald absteigenden Stromesrichtung) zu treffen, wie sie eine gewöhnliche Inductionsmaschine liefert. Dadurch erscheinen im Nervenstück in rascher Folge abwechselnd gerichtete Phasen, die gegenseitig ihre Wirkung auf die Nadel vernichten, weil diese nicht momentan jeder Einwirkung Folge leistet. — Du Bois hat aber auch auf andern

als electrischem Wege die negative Schwankung der Theile durch sehr sinnreiche Methoden der Erregung erwiesen; so hat er namentlich am lebenden Thier auf sog. reflectorischen Wege, und nach Strychnin-Vergiftung, ferner im einzelnen Nerven durch mechanische und kaustische Einwirkungen sie beobachtet. — Die negative Schwankung erscheint, was sehr bemerkenswerth, gewöhnlich nicht in voller Stärke mit der ersten Erregung, sondern erst dann, wenn der Nerv mit zwischen gelegten Pausen einigemal erregt worden war.

Die Anordnung der Nervenmolekeln, welche der electronegativen Schwankung zu Grunde liegt, pflanzt sich in allen Nerven, mögen diese im lebenden Körper Empfindung oder Bewegung veranlasst haben, nach beiden Richtungen ihrer Längsachse fort, so dass, wenn man z. B. das Mittelstück eines Nerven erregt, jedes der beiden Enden auf die Bäusche aufgelegt, die Nadel zur Rückschwankung veranlasst.

Der Rückschwung der Nadel kann verschiedene Zustandsveränderungen der Nervenmoleküle bedeuten; entweder könnte er herrühren von einer dauernden Abstumpfung der Gegensätze auf dem Längen- und dem Querschnitt, oder er könnte wegen der Trägheit der Nadel auch Folge sein von einem stetigen Wechsel der Stromesrichtungen, welche dadurch bedingt wären, dass in raschem Hin und Her die Oberfläche aus ihrem + in ein —, und der Querschnitt aus seinem — in ein + umschlägt. Diese letztere Meinung ist, wie bei den electrischen Eigenschaften der Muskeln dargethan wird, wahrscheinlich die richtige.

Electrisches Leitungsvermögen. Der Nerv leitet den galvanischen Strom nur insofern, als er von einer Lösung unorganischer Salze in Wasser durchtränkt ist, seine übrigen Stoffe gehören zu den Nichtleitern. Ed. Weber*) schätzt darum den Leitungswiderstand der Nervensubstanz um 50 Millionen mal höher als den des Kupfers. C. Eckhard**), der mit genauen Mitteln den Leitungswiderstand einiger thierischen Gewebe festgestellt hat, findet, dass der Leitungswiderstand (entsprechend der chem. Zusammensetzung) variabel sei. Setzt man den Widerstand des Muskelgewebes = 1, so schwankt der der Nervenröhren zwischen 1,9 bis 2,4. Rücksichtlich der Bestimmungsweisen muss auf die Originalabhandlung verwiesen werden.

Physiologisches Verhalten***). Die Anregung, welche

*) Quaestiones physiologicae de phaenomenis galvano-magneticis 1836.

**) Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Giessen 1855. p. 57.

***) J. Müller, Handbuch der Physiologie 4. Aufl. — Volkmann, Nervenphysiologie in R. Wagner's Handwörterbuch. 2. Bd. — Spiess, Physiologie des Nervensystems. Braunschweig 1844. E. H. Weber, Tastsinn, Wagner's Handwörterb. 3. Bd. — Eckhard, Physiologie des Nervensystems, Giessen 1854.

die Nerven der Seele, den Muskeln und Drüsen zur Erzeugung der Empfindung, Bewegung und Absonderung zu ertheilen vermag, belegt man mit dem Namen der physiologischen Nerventhätigkeit oder Nervenkraft. Innerhalb des lebenden Organismus erwecken aber, wie bekannt, die Nerven nicht zu jeder Zeit die genannten Veränderungen der Organe, denen sie zugeordnet sind, eine Thatsache, die zu der Ableitung führte, dass die Nerven sich zeitweise im Zustande der Thätigkeit oder Kraftentwicklung, zeitweise in dem der Ruhe befänden. Eine noch weiter gehende Erfahrung des täglichen Lebens musste aber bald die Ueberzeugung aufdrängen, dass diese beiden entgegengesetzten Zustände nicht die einzigen dem Nerven zukommenden seien; denn es ergab sich, dass ein und derselbe Nerv unter ganz gleichen Umständen das eine Mal zu Thätigkeitsäusserungen geweckt werden konnte, während dies ein anderes Mal nicht geschah. Hieraus folgte der Schluss, dass der ruhende Nerv mindestens zwei Erscheinungsformen besitze, von denen diejenige, in welcher er unter gewissen Umständen zur Thätigkeit zu bringen war, die erregbare, lebende, während die andere der ersteren entgegenstehende, die todte oder unerregbare genannt wurde.

Dem Vorstehenden entsprechend wird der Nerv als ein erregbarer bezeichnet durch die Fähigkeit, unter gewissen Bedingungen in den erregten Zustand übergehen zu können, und dieser letztere Zustand selbst wurde wieder charakterisirt durch die Thätigkeitsäusserungen, welche der Nerv in diesem oder jenem mit ihm in Verbindung befindlichen Organ erwecken konnte. Zu dieser Charakterisirung hat du Bois noch eine andere aus den inneren Verhältnissen des Nerven hergenommene gefügt; er machte nämlich die wichtige Entdeckung, dass der ruhende erregbare Nerv diejenige Anordnung electrischer Molekeln darbietet, in welcher sie den ruhenden Nervenstrom erzeugen, während der Nerv in der Erregung in die negative Stromesschwankung verfällt. Diese Erfahrung regt nun sogleich die weitere Frage an, welche chemische und physikalische Umstände im Nerven die eine oder andere Anordnung der electrischen Molekeln bedingen, und die weitere, unter welchen besondern Veranlassungen der ruhende Strom in die negative Schwankung, oder anders ausgedrückt, der erregbare Nerv in den erregten übergehe. Auf die erstere der beiden Fragen fehlt uns noch jede sichere Antwort, und auch die zweite ist, wie der Verfolg der Darstellung sogleich zeigen wird, sehr unvollkommen zu befriedigen.

1. Erregungsmittel; Reize. Die Einflüsse, welche den erregbaren Nerven in den erregten Zustand versetzen, sind im Allgemeinen Mittel, durch welche die geometrischen Verhältnisse des Nerven verändert werden (mechanische Reize), ferner Wärme, Licht, Electrizität und eine Zahl von chemischen Atomen, welche zu der Nervensubstanz Verwandtschaft besitzen. Diese Mittel erregen aber erfahrungsgemäss sämmtliche Nerven des Körpers durchaus nicht auf gleiche Weise. Diese Verschiedenheit äussert sich auf dreierlei Art: zuerst darin, dass ein und dasselbe Mittel nicht für alle Nerven Erreger wird; dann dadurch, dass ein Mittel, wenn es verschiedene Nerven erregen kann, in einzelnen derselben ganz besondere Arten der Erregung (qualitativ verschiedene Empfindungen), und endlich darin, dass dasselbe Mittel auf verschiedenen Orten des Verlaufes eines und desselben Nerven von einander abweichende Erfolge erzweckt.

Zur weiteren Ausführung dieser Aussprüche fügen wir bei, dass a) die Retina nur durch Aetherwellen, Electrizität und Druck; der nerv. acusticus nur durch mechanische Erschütterungen, insbesondere aber durch eine besondere Art derselben, die Schallschwingung, und Electrizität (?); der nerv. olfactorius nur von einigen flüchtigen Stoffen und Electrizität (?); die Geschmacksnerven nur durch einige Flüssigkeiten und Electrizität (?); die Gefühlsnerven durch Druck, Wärme, chemische Einwirkungen und Electrizität; die Muskelnerven durch Druck, Temperatur, Electrizität und eine beschränkte Zahl chemischer Atome, und endlich die Drüsennerven durch chemische und electrische Wirkungen erregt werden. — b) Ein und dasselbe Mittel, insofern es unter den gegebenen Bedingungen Erreger verschiedener Nerven ist, erzeugt in einem jeden dieser verschiedenen Nerven scheinbar oder wirklich von einander abweichende Qualitäten der Empfindung, so z. B. der Druck auf einen Muskelnerven Bewegung, auf einen Hautnerven Schmerz, auf die Retina Lichtempfindung u. s. w. — c) Endlich bringt ein und dasselbe Mittel, auf die peripherischen Verzweigungen angewendet, einen andern Erfolg hervor, als wenn es auf den Verlauf des Nerven einwirkt. Hierher gehört, dass die Erleuchtung der Retina Lichtempfindung hervorruft, die des Opticusstammes dagegen nicht (Helmholtz), und dass eine Wärmeschwankung, auf den Nerven in seiner Hautverbreitung angewendet, Temperaturempfindung bedingt, während sie Schmerz erzeugt, wenn sie auf den Stamm des Nerven geschieht. (E. H. Weber.)

2. **Gleichartigkeit und Ungleichartigkeit der Nerven.** Die so eben vorgebrachten Erfahrungen lassen zwei Erklärungen zu; entweder nämlich sind die Nerven selbst von abweichendem inneren Bau; oder sie sind überall einander gleich, aber die Organe, welche zwischen den peripherischen Nervenenden und dem Reize liegen oder diejenigen Gebilde, auf welche die Nerven ihren Erregungszustand übertragen, sind für die verschieden wirkenden Nerven von abweichender Einrichtung. — Im ersteren Fall würde ein und derselbe Reiz in den Nerven verschiedener Gruppen, entsprechend der besonderen Anordnung ihrer Nervensubstanz, eigenthümliche Erregungszustände erwecken müssen, selbst wenn die Organe der Empfindung und des Willens als durchaus gleichartige vorausgesetzt würden. Der verschiedene Erfolg, welcher z. B. in der Empfindung durch Reizung zweier ungleichartiger Nerven erreicht würde, wäre dann davon abhängig, dass ein jeder derselben das Empfindungsorgan in besonderer Weise anregte. Jeder Nerv wäre, kurz gesagt, mit einer spezifischen Energie begabt. Zur Unterstützung dieser Annahme kann man vorführen: a) Die vielfach beobachteten Formunterschiede der Nerven, so namentlich die An- oder Abwesenheit des Nervenmarks, die ungleichen Breitendurchmesser u. s. f. Abgesehen davon, dass diese Thatsachen von vorn herein nichts aussagen über die innere Anordnung der Massen, von welchen die Entwicklung der Nervenkräfte ausgeht, scheint sogar festzustehen, dass von diesen und ähnlichen Gestaltungen die Grunderscheinungen des Nervenlebens nicht bedingt sind, da ein und derselbe Nerv, dem man doch überall dieselben Energien zuschreiben müsste, auf verschiedenen Orten seines Verlaufs alle die Formen darbieten kann, welche überhaupt in den verschiedenen Nerven beobachtet werden. — b) Die Nerven zeigen, soweit es die freilich unvollkommene Zerlegung sehen lässt, zwar überall dieselben chem. Bestandtheile, aber keineswegs dieselbe prozentische Zusammensetzung (Bibra). Diese Erfahrung gibt jedoch in ihrer gegenwärtigen Gestalt nur einen Beleg dafür, dass nicht alle Stoffe, welche vom Nervenrohr umschlossen sind, sich in gleichwerthiger Weise an den physiologischen Leistungen betheiligen, da der gleichnamige Nervenstamm bei verschiedenen Individuen, ja sogar in demselben Leichnam an verschiedenen Orten seines Verlaufs eine ganz andere prozentischen Zusammensetzung aufweisst. — c) Ein Gift tödtet von zwei ihren physiologischen Reactionen nach ungleichnamigen Nerven, entweder durchaus nur den einen oder den einen wenigstens früher,

als den andern. So lähmt u. A. das Pfeilgift (Curare), wenn es in das Blut gelangt, die Röhren in den motorischen Nervenstämmen rascher (Bernard), als die in den sensiblen Nerven und in den Centralorganen (Kolliker*)). Wollte man daraus schliessen, dass die Massen, welche sich an der physiologischen Arbeit betheiligen, in beiden Nervengattungen spezifisch verschieden wären, so würde man dasselbe zu statuiren haben, für die Herznerven im Gegensatz zu den übrigen motorischen; auch müsste man die Nerven des Pupillenerweiterers für ganz andere Apparate ansehen, als die des Verengerers, denn der letztere wird vom Atropin u. s. w. gelähmt und der andre nicht. — Angesichts dieser Thatsache wird man sich wohl entschliessen, den Unterschied der Giftwirkung von den Hilfsorganen abzuleiten, z. B. von ungleicher Durchdringlichkeit der Nervenscheiden, oder gar ihn nur in quantitativen Abweichungen des Nervenmarks zu finden, und zwar um so mehr, weil sich auch die Giftwirkungen voneinander nur quantitativ unterscheiden. Denn überlässt man den Gehalt der Lösung an Gift und die Zeitdauer, der Wirkung auf den Nerven dem Ermessen, so lässt sich immer eine Lösung und eine Wirkungsdauer angeben, bei der alle Nerven dem Gift unterliegen.

Die Hypothese, welche die verschiedenen physiologischen Leistungen der einzelnen Nerven auf die Organe wirft, welche die Nerven am Centrum und der Peripherie umgeben, macht für sich geltend, dass viele Verschiedenheiten in der Wirkung eines Nerven von seiner peripherischen Verbreitung abhängen; denn ein Hautverv, die Retina u. s. w. können natürlich in ihrer Erregung keine Muskelzuckung erzeugen, weil sie nicht mit Muskeln in Verbindung stehen; ferner kann das Licht nicht als Licht, sondern nur als Wärme auf die Hautnerven wirken u. s. w. die Wesentlichkeit der Organe, die an der Peripherie den Nerven umgeben, leuchtet besonders durch Erfahrungen ein, wie die, dass ein Hautnerv nur so lange Temperatur empfindet, als er noch in der unverletzten Haut endet und der Opticus nur da, wo ihn Stäbchen bedeken, durch Aetherwellen erregbar ist. — So viel nun aber auch von der Peripherie abhängig sein mag, so leistet sie doch nicht alles; denn in der That zeigen sich auch noch Abweichungen in den Folgen der Erreger, wenn diese auf die nur noch mit Hirn und Rückenmark verbundenen, also von der Peripherie getrennten

*) Virchow's Archiv. X. Bd.

Nervenstümpfe angewendet werden; so bewerkstelligt hier niemals ein Erreger eines Bewegungsnerven Schmerz, ein Druck auf den Hautnerven erzeugt nur Schmerz, ein solcher auf den Opticus nur Lichtempfindung. — Diese übrig bleibenden Unterschiede können aber immer noch auf eine besondere Art der Hirnendigung der Nerven, resp. auf eine Verschiedenheit der sog. Empfindungs- oder Willensorgane geschoben werden; und in Wirklichkeit treten die Nerven, je nachdem sie bewegen oder empfinden, auf eine ganz abweichende Weise in das Hirn und Rückenmark; und die verschiedenen Empfindungsnerven setzen sich selbst wieder ihren örtlichen und histologischen Verhältnissen nach sehr verschiedentlich in das Hirn ein. — Die Gleichartigkeitstheorie der Nervensubstanz macht schliesslich die unbestrittene Thatsache für sich geltend, dass das electromotorische Verhalten aller möglichen Nerven nach du Bois durchaus dasselbe ist, und diese Erfahrung wiegt um so mehr, als sich die innige Beziehung zwischen den electrischen und physiologischen Funktionen nicht läugnen lässt.

Den kürzesten Weg, die Controverse zu entscheiden, hat Bidder*) verfolgt, indem er es versuchte, die durchschnittenen Enden des empfindlichen ram. lingualis trigemini und die vorzugsweise motorischen des nerv. hypoglossus kreuzweise zu vereinigen. Wäre, was bis dahin leider nicht geschehen, gelungen, das periphe-rische Ende des n. lingualis dem centralen Stumpf des hypoglossus und ebenso den letzteren des lingualis dem ersteren des hypoglossus anzuheilen, so würde, je nach dem beobachteten physiologischen Erfolg, die eine oder die andere Hypothese zur Geltung gekommen sein. Denn wäre die Zunge empfindlich und die Zungenmuskulatur willkürlich beweglich geblieben, so hätte keinenfalls der besonderen Einmündung der Nerven in das System hinterer und vorderer Colonnen ein Einfluss auf die physiologische Reaktion zu eigen gemacht werden dürfen; wären dagegen die Muskeln ungemein sensibel geworden, die Zungenoberfläche dagegen unempfindlich geblieben, und wäre endlich durch Erregung des ram. lingualis oberhalb der Narbe eine Muskelbewegung zu erzielen gewesen, so würde damit, wie es scheint, die Identitätslehre erwiessen worden sein. Die sinnreichen Versuche von Bidder dürften Wiederholungen und Modifikationen verdienen.

*) Müller's Archiv. 1842. — Flourens, Heusinger's Zeitschrift für organische Physik. II. Bd. 1828.

Die Dinge, unentschieden wie sie liegen, erlauben uns mindestens in der allgemeinen Nervenlehre alle Nerven unter einem Gesichtspunkt zusammenzufassen.

Dass übrigens die Möglichkeit vorliegt, mit einer Art von Nerv, der mit verschiedenen Bewegungs- und Empfindungswerkzeugen verknüpft ist, mannigfaltige Wirkungen zu erzeugen, begreift sogleich auch der Anfänger, wenn er sich die einfachste aller Maschinen, einen Hebel bald mit dem Pendel einer Uhr, bald mit dem Hahn einer Dampfmaschine oder eines Feuergewehrs u. s. w. in Verbindung denkt.

3. Verschiedene Erregungszustände innerhalb desselben Nerven. Unabhängig von der Behauptung, dass der Nerv überall derselbe sei, steht natürlich diejenige, dass ein und derselbe Nerv in verschiedene innere Zustände gerathen und demgemäss auch auf die ihm zugeordneten Organe verschiedenartig wirken könne. Dieses beglaubigt auch die Erfahrung, insofern sie zeigt, dass bei Anwendung verschiedener Erregungsmittel auf dieselbe Stelle desselben Nerven sehr mannigfach abweichende physiologische Erfolge erzeugt werden. Dieselben unterscheiden sich von einander theils qualitativ, theils quantitativ, d. h. entweder tritt, beim Wechsel des Erregers, derselbe Erfolg mit einer grösseren oder geringeren Intensität auf, oder es erscheinen Reaktionen, die sich ausser der Intensität noch anderweit von einander unterscheiden.

A) Qualitativ verschiedene Erregungszustände. Mit Rücksicht auf dieselben wissen wir weder anzugeben, von welchen innern Bedingungen sie abhängen — denn bis auf wenige Fälle verlässt uns hier auch die leitende Hand der Neuro-Electrizität — noch auch nach welchen Gesetzen mit dem Wechsel des Erregers die des Zustandes sich ändern. Als einzige im Allgemeinen giltige Bemerkung darf nur die angesehen werden, dass durchaus keine Proportionalität zwischen den übrigen Verschiedenheiten eines Erregers und seinen Wirkungen auf den Nerven besteht. Denn es bringen u. A. in der Retina verschiedene Wellenlängen des einen Lichtäthers die gar nicht miteinander vergleichbaren Farbenempfindungen zum Vorschein, während ganz abweichende Erregungsmittel, wie Electrizität, Druck und gemischte Aetherwellen, das weisse Licht hervorrufen; so erzeugen hohe Temperaturgrade mit der Electrizität und dem Druck Schmerz, während Temperaturschwankungen in den Grenzen von + 10°C bis + 48°C Wärme- und Kälteempfindung bedingen. — Hier bietet sich nun auch die bemerkenswerthe, auf die vorige Untersuchung influenzirende Erscheinung, dass einzelne Nerven, wie die des Gehörs, Gesichts, Geschmacks

und Geruchs sehr vielfältige Erregungszustände zur Erscheinung bringen, während andere, wie die Muskelnerven, jede Erregung immer nur durch Muskelzuckung beantworten.

B) Quantitativ verschiedene Erregungszustände. So lange der Nerv in seinen natürlichen Verbindungen steht, wird die Summe der Kräfte, welche er während seiner Erregung frei macht, zum Theil verwendet werden auf die Ueberwindung der Widerstände, welche der Fortleitung der Erregung durch das Nervenrohr in den Weg treten, und der Rest wird in die physiologisch beigeordneten Organe übergehen, um je nach der Natur desselben Verkürzung, Saftbewegung oder Empfindung zu wecken. Dass diese Kraftsumme gemessen werden könne durch den Unterschied der latenten Wärme, welche dem Nervenrohr vor und nach der Erregung zukäme, lehrt die Theorie; solche Bestimmung sind freilich bis dahin unausführbar. — Ganz rathlos sind wir dagegen rücksichtlich der Kraftvertheilung, vorausgesetzt, man wolle die Sache ernsthaft nehmen. Allerdings ging man darauf aus, den Kraftantheil zu schätzen, welcher der Anregung der Muskeln, der Drüsen und der Empfindung zu Gute kommt, aber es kann natürlich von einer Messung dieses Antheils keine Rede sein, wenn man sich, wie es bisher geschehen, der proportionalen Muskelverkürzung, der Absonderungsgeschwindigkeit oder der Empfindungsstärke als Maassstab bedient für die Intensität der Nervenerregung. Denn dann müsste mindestens bekannt sein 1. in welchem Grade jene Vorgänge sich ändern mit der Steigerung des vom Nerven aus geschehenen Anstosses; da nämlich die Nervenbewegungen nicht einfach übergehen in die Muskeln u. s. w., sondern in dem complizirten Organ, das sie treffen, Kräfte auslösen, wie dieses die einfachste Ueberlegung zeigt, so ist es auch gewiss, dass die in den Nerven und in Folge dessen in den Muskeln, Drüsen u. s. w. freigemachten Kräfte nicht in geradem Verhältniss, sondern in irgend welchem andern complizirteren mit einander wachsen. Die Erfüllung dieser Bedingung vorausgesetzt müsste man 2. versichert sein, dass in allen zur Messung benutzten Versuchen die Organe, welche den Maassstab abgeben, immer in demselben Zustand sich befunden hätten; diese Forderung dürfte aber schwer zu erfüllen sein, da die Muskeln, Drüsen und die Empfindungsorgane sich erfahrungsgemäss in sehr variablen Zuständen finden und zwar sowohl bei verschiedenen Individuen, als auch zu ungleichen Zeiten in demselben Wesen. Um endlich 3. die Reaktionen verschiedener Maassstäbe (der Empfindung, Absonderung, Muskelverkürzung)

untereinander vergleichbar machen zu können, müsste man sie auf einen gemeinsamen Maassstab reduzirt haben. Somit bleibt uns nichts übrig, als eine sehr ungefähre Schätzung, die jedoch sehr werthvoll ist, wenn man miteinander vergleicht: mehrere in kurzaufeinander folgenden Zeiten auftretende Reaktionen, die durch verschiedene, nicht allzu heftige Erregungen eines und desselben Nerven in ein und demselben zugeordneten Organ erregt werden. Denn wenn die Zeit und Intensitätsgrenzen der vergleichenden Beobachtungen möglichst eng gewählt wurden, so besteht mindestens die höchste Wahrscheinlichkeit dafür, dass die beigeordneten, als Maassstab benutzten Organe ihre Empfindlichkeit während der Versuchsdauer nicht geändert haben. Unter diesen Bedingungen darf aber wohl vorausgesetzt werden, dass die stärkere Leistung eines beigeordneten Organs die Folge einer kräftigeren Nervenerregung gewesen sei. Um so mehr als diese Annahme bestätigt wird durch die Erfahrung, dass die Leistungen der genannten Organe unter den verlangten Bedingungen wachsen mit der Stärke der Reizmittel, welche den Nerv in Erregung versetzten. Dieser Erfolg leitet sich aber aus dem obigen Satz als ein nothwendiger her, da es wohl als feststehend angenommen werden kann, dass in einem Nerven von gleichen Eigenschaften das kräftigere Reizmittel auch grössere Erregungen erzielt.

Nach diesen Vorbemerkungen gehen wir dazu über, die Bedingungen aufzusuchen, von denen die Stärke der Nervenerregung bestimmt wird.

a) Die Stärke der Erregung in ihrer Abhängigkeit von der Erregbarkeit. Die bisher geführten Betrachtungen haben übereinstimmend gezeigt, dass die Nerven keine constanten, sondern sehr veränderliche Apparate seien; wie sehr diese Veränderungen im Innern des Nerven, dieser Wechsel in seiner chemischen Zusammensetzung, in seiner Wärme, in seinen electrischen Gegensätzen auf seine physiologische Leistungsfähigkeit von Einfluss sei, haben wir schon angedeutet, als erwähnt wurde, dass das in seiner Form scheinbar noch unangetastete Primitivrohr bald erregbar und bald nicht mehr erregbar sei. Hier ist nun aber noch genauer darauf hinzuweisen, dass häufig ganz verschiedene Intensitäten der Bewegung, Empfindung und Absonderuug erscheinen, selbst wenn wir ein und denselben Nerven an ein und derselben Stelle, in gleicher Ausdehnung zu verschiedener Zeit genau demselben erregenden Mittel unterwerfen, und zwar unter Umständen, in denen höchst wahr-

scheinlich das zur Messung dienende physiologische Organ (Hirn, Drüse, Muskel) keine Veränderung seines Zustandes erlitten hat. Da in diesen beiden Fällen alles Uebrige sich gleich verhielt, so kann die sinkende oder steigende Veränderung an dem Werth der physiologischen Leistung nur abhängig gemacht werden von einem wechselnden Verhalten des Nerven, mit andern Worten von Veränderungen seiner Erregbarkeit.

Ueberlegt man die Prinzipien, nach denen die Erfahrungen über Variation der Erregbarkeit zu sammeln wären, damit man möglichst vor nichtssagenden Versuchsreihen gesichert sei, so scheint es, soweit man den Gegenstand jetzt übersieht, gerathen, die Leistungsfähigkeit der Nerven aufzufassen als Funktion: 1. der geometrischen Verhältnisse des Nervenrohres, resp. seiner Scheide, des Marks und des Achsencylinders; 2. des Aggregatzustandes des Nerveninhalts; 3. der chemischen Zusammensetzung des letzteren, also namentlich mit dem Gehalte desselben an Wasser, Eiweissstoffen, Fetten, Salzen, Sauerstoff u. s. f.; 4. des electromotorischen Verhaltens, also namentlich der verschiedenen Stärken des ruhenden Nervenstroms, des elektrotonischen Zustandes u. s. f.; 5. der verschiedenen Temperatur des Nerven, da von diesen die Leichtbeweglichkeit und Umsatzfähigkeit des Nerveninhalts abhängig ist; 6. der physiologischen Zustände der Nerven, namentlich der Ruhe und Erregung; 7. derjenigen noch unbekannten Kraftanordnungen, welche innerhalb des Organismus auf die Nerven wirken, ohne dass sie die Temperaturen, Formen, Aggregatzustände und chemische Zusammensetzung des Nerven ändern, oder ihn nachweisslich in den erregten Zustand versetzen. — Will man die Vollständigkeit der vorstehenden Aufzählung bestreiten, so wird man jedenfalls eingestehen müssen, dass die in ihr gesteckten Ziele die nächstliegendsten und zugleich ausnahmslos von Bedeutung sind.

Die Schwierigkeiten, welcher einer jeden der vorgeschlagenen Versuchsreihen von technischer Seite her entgegenstehen, sind nun begreiflich nicht bloss diejenigen, welche von der unvollkommenen Messung der Erregbarkeit herrühren, sondern sie sind in noch weit höherem Grade bedingt von dem Erwerb solcher Verfahrungsarten, durch welche man an den Nerven willkührlich nur die eine, die gerade gewünschte, Veränderung in jedem messbaren Grade anbringt, während man ihn in allen übrigen Stücken unverändert lässt. Es dürfte nützlich sein, dieses dem Anfänger in einigen einfachen Beispielen klar zu machen. So liegt es nahe, den Wassergehalt

des Nervenrohres dadurch ändern zu wollen, dass man dasselbe in einen trocknen Luftstrom oder umgekehrt in destillirtes Wasser legt. Im ersten Fall würde offenbar der Wassergehalt sich mindern, im letztern sich mehren, ausserdem aber würde die Scheide schrumpfen oder quellen, durch Diffusion die Theile des löslichen Inhaltes und zwar mit verschiedener Geschwindigkeit austreten, die elektrische Leitungsfähigkeit sich ändern u. s. w. Da ausserdem die Zeit, in welcher die gewünschte Veränderung des Wassergehaltes vor sich geht, keine verschwindende, sondern eine genügend grosse ist, um noch andere vom Wassergehalt unabhängige Veränderungen möglich zu machen, so ist sogleich einleuchtend, dass ein eingetretener Endeffekt nicht bloss auf den veränderten Wassergehalt bezogen werden kann, sondern dass man statt des schärferen nur den allgemeinen Ausdruck gebrauchen kann, der Nerv sei nach dem Aufenthalt in trockner Luft oder in destillirtem Wasser in der oder jener Weise verändert worden. Wenn wir nicht irren, so gilt das eben Gesagte von den meisten der bis dahin ausgeführten Beobachtungsreihen, deren allgemeinster Inhalt jetzt angegeben werden soll.

Die Erregbarkeit wird erfahrungsgemäss umgeändert durch:

α) Den Zustand der Erregung. Die besondern Bedingungen, unter welchen die Richtigkeit der folgenden Mittheilungen gilt, bestehen darin, dass der erregte Zustand nicht durch Zeiten der Ruhe unterbrochen und ferner, dass der Nerv vollkommen den Einwirkungen des normalen Lebens, z. B. des Blutstroms u. s. w., entzogen sei; dieses wird erreicht, wenn der Nerv entweder am getödteten Thiere untersucht oder wenn der untersuchte Theil möglichst von seiner Umgebung isolirt wird. Die Erregung mindert unter diesen Umständen in jedem Fall die Erregbarkeit; der Grad ihrer schwächenden Wirkung ist aber abhängig von der Zeitdauer und Stärke der Erregung, und beide wirken wiederum auf den einen Nerven anders, als auf den andern. — Alles Andere gleichgesetzt nimmt die Schwächung zu mit der Zeitdauer der bestehenden Erregung; und ebenso verhält es sich mit der Stärke derselben, indem die kräftigere beträchtlichere Schwächungszustände hinterlässt, als die weniger kräftige, vorausgesetzt, dass beidemal die Erregung gleich andauerte. — Die Zeiten und Intensitäten der Erregung, welche zwei verschiedene Nerven auf ein gleiches Maass der Erschöpfung bringen, sind aber sehr ungleich; mit andern Worten, ein Nerv ist leichter erschöpft als der andere. Angesichts der Anschauungen älterer Physiologen über die sog. Nervenkräfte

ist als Erfahrung von Bedeutung, dass die Schwächung, welche die Erregung erzeugt, nicht Hand in Hand geht mit dem Grade der Erregbarkeit, welche vorhanden war, als die Erregung begann. Denn oft sind sehr erregbare Nerven fast momentan erschöpft, während sie in andern Fällen beträchtlich ausdauern; und im Gegensatz hierzu finden sich weniger erregbare Nerven (welche intensivere Erreger zur Erzeugung gleichwerthiger Leistungen bedürfen) oft im Stande, längere Zeit die Erregung zu ertragen, während sie auch häufig rasch in der Erregung absterben.

Das zuletzt erwähnte Verhalten der Nervenröhre hat älteren Aerzten Veranlassung gegeben zur Aufstellung mancherlei Arten der Nervenkräfte, die in dieser Art der Auffassung der Vergessenheit anheimzufallen verdienen. — Es darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass man die Schwäche der Erregbarkeit in dem Nervenstücke, welches dem Erreger unmittelbar ausgesetzt war, nicht zur Schätzung der durch die Erregung herbeigeführten Schwächung benutzen darf, da auf dieses neben der Erregung der meist noch spezifisch störende Einfluss des Erregungsmittels wirkte, und sich somit an diesem Orte zwei schädliche Wirkungen summirt haben. —

β) Wie im erregten, so ist auch im ruhenden Zustand der Nerv in einer allmäligen Veränderung seiner inneren Verhältnisse begriffen, selbst wenn er sich unter Umständen befindet, in denen scheinbar durchaus keine anderweitigen verändernden Einflüsse auf ihn wirken. Der aus seinem Zusammenhang mit dem lebenden Thier gelösste Nerv erleidet, während seiner Ruhe Veränderungen, in Folge deren die Erregbarkeit desselben sich bald zu heben und bald zu senken vermag. — Der erste Fall, die Hebung der Erregbarkeit, wird beobachtet, wenn der Nerv durch eine vorhergehende Erregung erschöpft war; denn es stellt sich die in der Erregung vernichtete Erregbarkeit wieder her, wenn er einige Zeit der Ruhe überlassen wurde. Dieser wiederherstellende Einfluss der Ruhe macht sich aber nicht unter allen Umständen in gleichem Maasse geltend; namentlich ist es Thatsache, dass die Leistungsfähigkeit des Nerven immer mehr und mehr abnimmt, je öfter sie in der Erregungspause wieder erlangt war, mit andern Worten, ein Nerv, der nach einer ersten Erregung in der Ruhe sich rasch erholte, erhält in der auf eine zweite Erregung folgenden Ruhezeit seine Erregbarkeit nur in sehr unvollkommener Weise wieder, und erholt sich, wenn er zum dritten oder vierten Male erschöpft war, gar nicht mehr. — Die Ruhe, welche nach der Erregung sich so wohlthätig erwiess, kann nun aber, vorausgesetzt, dass sie anhaltend genug wirkte, den erregbarsten Nerven abtödten; diese Behauptung bestätigt sich nicht allein an dem ausgeschnittenen, sonst aber vor schädlichen Ein-

flüssen geschützten Nerven, sondern auch noch dann, wenn sich der Nerv unter den günstigsten Bedingungen findet, indem er auch innerhalb des lebenden Thiers seine Erregbarkeit einbüsst, vorausgesetzt, dass er lange Zeit hindurch jeder Art von Erregung entzogen war. Der einzige Unterschied, der zwischen dem ausgeschnittenen und dem normal gelagerten Nerven in dieser Beziehung vorkommt, ist der, dass der erstere im Allgemeinen rascher abstirbt, als der letztere. — Obwohl uns der Verlauf der Dinge, durch welchen im ruhenden Nerv die Erregbarkeit vernichtet wird, unbekannt ist, so dürfen wir doch mindestens behaupten, dass dieses geschehe in Folge einer Zerstörung des ganzen Nerven, welche, während andauernder Ruhe eingeleitet wird. Denn es lehrt uns die mikroskopische Betrachtung, dass der ruhende Nerv allmälig seine optischen Eigenschaften ändere, und namentlich, dass die homogene Röhre doppelte Contouren annimmt, indem sich ihr Inhalt in einen wässerigen und öligen Theil scheidet, und ihre Hülle sich faltet. So weit uns das optische Verhalten Aufschluss gewährt, sind die ersten Stadien der Umsetzung auffallend übereinstimmend, wenn auch die anderweitigen Bedingungen, unter denen der ruhige Nerv abstirbt, von einander sehr abweichen; denn sie sind dieselben, mag auch der Nerv im todten oder lebenden Thier seine Erregbarkeit aufgeben.

Wenn die unter α und β vorgeführten Beobachtungen beweissen, dass der Erregungs- und der Ruhezustand jeder für sich den Nerven zerstören, so zeigen sie aber auch zugleich, dass der innere Hergang beider Zerstörungsprozesse ein verschiedener sei. Zunächst ist der in der Erregung vorgehende Zerstörungsprozess viel intensiver, als der in der Ruhe vorkommende; denn es kann der Nerv die Ruhe viel länger ertragen, als das Gegentheil. — Dann aber heben sich auch die aus beiden Vorgängen zum Vorschein kommenden Störungen gegenseitig auf, wie daraus einleuchtet, dass zur Erhaltung des normalen Nerven das abwechselnde Erscheinen beider Zustände nöthig ist. Dieses Aufheben der Störungen darf jedoch nicht so aufgefasst werden, als ob die in der Erregung zu Stande gekommenen Umsetzungen unter Beihilfe der in der Ruhe erschienenen die Erregbarkeit wieder herzustellen vermögten; denn wäre dieses der Fall, wären sie mit andern Worten nach entgegengesetzten Richtungen gehende Vorgänge, so müsste ohne Zuthun eines andern helfenden Umstandes, die Erregbarkeit sich in's Unendliche erhalten lassen, vorausgesetzt, dass nur Ruhe und Erregung auf zweckmässige Art mit einander wechselten. Da dieses nicht der Fall ist, so kann man sich höchstens den Werth der Alternative für die Erhaltung der Erregbarkeit so vorstellen, dass durch dieselbe irgend welche Hemmungen entfernt werden, welche, wenn sie vorhanden sind, andern Prozessen, die die Erregbarkeit wieder herzustellen vermögen, einen Widerstand entgegensetzen. Dieser Annahme entspricht nun die Thatsache, dass die Alternative um so günstiger wirkt, je mehr der Nerv mit normalem arteriellem Blut in Berührung ist. Concret ausgedrückt würde der obige Satz dahin lauten, dass durch den Wechsel von Ruhe und Erregung im Nerven sich Umstände bilden, welche die Neubildung der zersetzten Nerven aus dem Blute begünstigen.

Wie sich die Nerven rücksichtlich ihres Widerstandsvermögens gegen die vernichtenden Einwirkungen der Erregung verschieden verhalten, so wiederstehen sie auch mit verschiedener Energie den schwächenden Einwirkungen der Prozesse, welche im physiologischen Ruhezustand in ihnen vorgehen; indem der eine Nerv in der Ruhe viel rascher seine Erregbarkeit verliert, als der andere. Vor allem zeichnen sich als leicht zerstörbare die Röhren des Hirns, Rückenmarks und die der höhern Sinnesnerven aus, während die Muskelnerven im Allgemeinen länger ihre Erregbarkeit behaupten.

γ) Einen die Erregbarkeit des Nerven erhaltenden Einfluss übt die Verbindung des Nervenrohres mit dem Hirn und Rückenmark. — Nach J. Müller's Entdeckung und den Bestätigungen zahlreicher anderer Beobachter steht es fest, dass das vom Hirn und Rückenmark getrennte Stück eines durchschnittenen Nerven im lebenden Thier nach 5 bis 6 Tagen sein normales miskroskopisches Verhalten ändert und seine Erregbarkeit vollkommen einbüsst. Da die Muskelnerven der lebenden Thiere vorzugsweise im Hirn und im Rückenmark (den Sitzen des willkührlichen und reflectorischen Vermögens), die Empfindungsnerven aber an der Oberfläche des Körpers mit den sie erregenden Mitteln in Verbindung sind, so complizirt sich für beide Durchschnitte der Fall in der Art, dass das vom Hirn und dem Rückenmark abgetrennte Stück des Muskelnerven auch noch dazu in eine stetige Ruhe versetzt wird; es summiren sich also hier zwei schädliche Mächte, während das abgeschnittene Ende des empfindlichen Nerven, das den gewöhnlichen erregenden Einflüssen noch ausgesetzt ist, nur unter der Trennung vom Hirn und Rückenmark leidet. Da nun, wie erwähnt, dieses Stück seine Struktur (und somit seine Erregbarkeit) eingebüsst hat, zu einer Zeit, in welcher das der Erregung entzogene, aber mit den nervigten Centralorganen in Verbindung befindliche Stück des Nerven sie noch besitzt, so scheint somit der schädliche Einfluss dieser Trennung erwiesen.

So bedeutungsvoll für die Erhaltung der Nerveneigenschaften sich nun auch die Verbindung mit den Centralorganen erweisst, so wenig ist sie (wie ältere Aerzte glaubten) als der einzige Bestimmungsgrund derselben anzusehen, wie schon daraus sich ergiebt, dass auch das mit dem Hirn in Verbindung befindliche Ende der sensiblen Nerven allmälig abstirbt, in Folge der ihm mangelnden Erregung.

δ) Eine von ihrem Inhalt befreite Nervenscheide besitzt keine Erregbarkeit, dasselbe gilt von einem stark in die Länge ausgezogenen oder in die Breite gedrückten Nerven. Ein bekanntes

Beispiel bietet das Einschlafen der Glieder. — Ein Nervenrohr, dessen Achsenband durch Aufquellen in Wasser um ein sehr beträchtliches an Breite zugenommen, ist nicht mehr erregbar; ein Nerv, dessen Mark geronnen ist, kann dagegen noch leistungsfähig sein (Kölliker*)).

ε) Die Veränderung der Erregbarkeit, welche der Nerv (unabhängig von aller Erregung) durch eine Variation seiner Zusammensetzung erfährt, hat man meistens nicht als eine Funktion der besondern chem. Veränderung aufgefasst. Nur bei Harless**) findet sich folgendes: der Wassergehalt des Nerven kann von 30 p.C. bis zu 89 p.C. steigen, ohne dass die Erregbarkeit vollkommen erloschen ist; bei normalem Wassergehalt (beim Frosch etwa = 76 p.C.) vermindert sich nach dem Tode die Erregbarkeit anfangs proportional mit der Zeit, später langsamer als diese; lässt man den Nerven austrocknen, so nimmt, während dieses geschieht, die Erregbarkeit zu und dann plötzlich ab; wie sich dabei der Wassergehalt ändert, ist nicht angegeben. Legt man umgekehrt den Nerven in destillirtes Wasser, so nimmt anfänglich in den ersten 20 Minuten der Nerv sehr begierig Wasser auf, und in dem Maasse, in welchem sein Wassergehalt steigt, mindert sich die Erregbarkeit; nach einer Stunde etwa ist das Quellungsmaximum des Nerven nahezu erreicht und damit ist der Nerv auch abgestorben.

Meist hat man sich mit der Angabe begnügt, wie sich die Erregbarkeit des Nerven ändert nach seinem Aufenthalt in dieser oder jener Flüssigkeit. Zählen wir zuerst die Flüssigkeiten auf, durch deren Berührung die Nervenerregbarkeit erhöht wird, so wird man schwerlich einen wesentlichen Irrthum begehen, wenn man im Allgemeinen diejenigen Stoffe als tauglich bezeichnet, welche entweder die Veränderungen, wodurch die normale Zusammensetzuug des Nerven alterirt wird, wieder ausgleichen, oder die, welche solche Veränderungen hemmen. Je nach der Beschaffenheit des Nerven oder den Umständen, in denen er liegt, wird sich also die Natur der erhaltenden Flüssigkeit wesentlich anders gestalten müssen.

Durch das Leben wird wahrscheinlich der Nerv in allen seinen Bestandtheilen verändert, und darum scheint zu dieser Zeit zu seinem kraftvollen Bestehen eine Flüssigkeit nöthig, welche nicht allein alle wesentlichen Nervenstoffe, sondern sie auch in dem

*) Würzburger Verhandlungen VII. Bd. 145.

**) Münchner gelehrte Anzeigen. Mai 1857.

quantitativen Gemenge enthält, die es ihr ermöglichen, sie dem Nerven seiner normalen Zusammensetzung gemäss zu liefern, welche ausserdem die im Nerven entstandenen Umsetzungsprodukte entfernt und zwar alles dieses leicht und rasch leistet.* Diesen mannigfachen Bedingungen genügt, so weit wir wissen, das arterielle Blut. Da dieses aber in den zahlreichen Thierarten, die sich einer lebhaften Erregbarkeit erfreuen, neben grossen Aehnlichkeiten sehr beträchtliche Verschiedenheiten bietet, so müssen entweder nicht alle Stoffe des Bluts zur Erhaltung der Erregbarkeit nothwendig sein, oder die Nerven sind bei den verschiedenen Thieren ungleich zusammengesetzt.

* Im Interesse des praktischen Physiologen und Mikroskopikers fügen wir nach Eckhard, Kölliker und Harless an.

1. In einer NaCl-Lösung von 0,5 p.C. und in einer Lösung von $NaO\,SO_3$ oder $2\,NaO\,PhO_5$ von 2,5 bis 3 p. C. können sich motorische Nerven des Frosches bis zu 25 Stunden (Temperatur = + 13 bis + 15°) erregbar erhalten. — 2. In höher conzentrirten Lösungen sterben die Nerven rascher ab; sie können dann durch Einbringen in destillirtes Wasser oder verdünnte Lösungen wieder erregbar werden (?). So konnten e. g. Nerven, die durch NaCl-Lösung von 10 bis 20 p.C. getödtet waren, wieder auferweckt werden durch Wasser, $2\,NaO\,PhO_5$-Lösung von 3 p.C. und NaCl-Lösung von 0,5 p.C. Beim Aufenthalt in conzentrirten Lösungen schrumpfen die Nerven beträchtlich. — 3. Durch Aufenthalt in Wasser von 13 bis 15° sterben die Nerven rascher ab, als in verdünnten Lösungen von phosphorsaurem Natron, Koch- und Glaubersalz. Aus diesem Tode können sie wieder auferstehen durch Einwirkung von Lösungen mit 3—9 p.C. $2\,NaO\,PhO_5$; HO oder 4—25 p.C. NaCl. — 4. Jedem, der mit den Froschnerven experimentirt hat, wird bekannt sein, dass ein angetrockneter Nerv, der durch die Schläge der Induktionsvorrichtung nicht mehr angegriffen wird, die Befähigung hierzu wieder erhält, wenn man ihn befeuchtet. Vielleicht nur, weil die Scheide wieder leitungsfähig wird. 5. Wird umgekehrt ein aufgequollener Nerv, der fast unerregbar geworden war, wieder getrocknet, so erlangt er die Erregbarkeit eines frischen Nerven wieder.

Alle andern Flüssigkeiten, die den obigen Anforderungen nicht entsprechen oder ihnen gar zuwiderhandeln, sind desshalb schädlich, also z. B. Flüssigkeiten, welche dem Nerven den nöthigen Sauerstoff vorenthalten, welche seine Fette, sein Wasser, sein Eiweiss, seine Salze mehren oder mindern; die Schäden, welche hierdurch entstehen, können natürlich entweder verbesserlich (Eckhard) oder unverbesserlich sein, wie schon angeführt wurde.

Es ist eine aus chemischen Prinzipien leicht ableitbare und durch die Erfahrung bestätigte Folgerung, dass eine Lösung bei geringerem Procentgehalt anders wirkt, als bei höherem, und ferner, dass ein Stoff im Gemenge mit andern und namentlich im Gemenge mit den Blutbestandtheilen (wegen eintretender secundärer

Zersetzungen) ganz anders wirkt, als für sich allein u. s. w. Das Einzelne gewährt bei dem niedrigen Stand unsrer chemischen Kenntnisse über die Nervensubstanz ein geringes Interesse.

Ausser den mineralischen und den meisten organischen Säuren und Alkalien, zerstören die Nervenerregbarkeit namentlich Aether, Alkohol, wässrige Opiumtinktur, Kreosot, verdünnte Lösungen der Metall- und dichtere der Neutral- und Haloidsalze; indifferenter aber immer noch schädlich erscheinen Blausäure, Strychninlösung, Zucker und fette Oele.

Die Annahme liegt nahe, dass chemische Veränderungen der Nerven die Ursache sind, wenn die Erregbarkeit der Frösche im Frühjahr und Herbst höher steht, als im Winter und Sommer, und höher beim Aufenthalt im Sonnenlicht, als im Dunklen (Moleschott*)); derselbe Grund dürfte es auch bedingen, dass der Abend und die Jugend den Menschen meist erregbarer finden als das Alter und der Morgen. — Denn in der That fallen die Zeiten erhöhter Erregbarkeit und lebhafterer Stoffbewegung, welche sich durch ein Mehr von Kohlensäure- und Harnstoffbildung darlegen, zusammen.

η) Die Wärme, welche sich nach oben oder unten beträchtlich von derjenigen entfernt, in welcher der Nerv im lebenden Thier sich findet, vernichtet die Erregbarkeit, selbst wenn sonst alle Bedingungen zur Erhaltung derselben gegeben sind. Eckhard**) legte, um die Erscheinungen zu studiren, die noch mit einem Muskel in Verbindung stehenden Nerven eines Frosches in Wasser von verschiedenen aber jedesmal constanten Temperaturen und prüfte dann von Zeit zu Zeit das Vorhandensein der Erregbarkeit mittelst eines elektrischen Schlages. Hier ergab sich, dass in Wasser von + 10° bis 20° R., der Nerv nicht merklich rascher abstarb, als in feuchter Luft gleicher Temperatur (?). Im Wasser von 0° starb der Nerv binnen 45 Sekunden und bei — 3° bis — 5° starb er momentan ab; in einer Temperatur von + 30° erhielt er sich 12—15 Sekunden und in einer solchen von + 55° bis + 60° war er nur noch momentan erregbar. Aehnlich verhalten sich nach E. H. Weber die Hautnerven des Menschen, jedoch mit dem Unterschiede, dass die günstigen Temperaturen erst bei 30° R. gelegen sind. Bei etwa 21° R. haben die Nerven ihre Erregbarkeit soweit eingebüsst, dass sie zur Unterhaltung des Lebens einer Taube unfähig sind (Chossat).

*) Moleschott's Untersuchungen. I. Bd. p. 30.
**) Henle's und Pfeufer's Zeitschrift. X Bd. 165.

ϑ) **Electromotorische Wirkung des Nerven; Einfluss galvanischer Ströme***). Zwischen der physiologischen und elektromotorischen Wirsamkeit des Nerven besteht nach du Bois der Zusammenhang, dass die höchsten und niedrigsten Werthe beider zusammenfallen, oder mit andern Worten, der Nerv, welcher die Angriffe des geringfügigsten Erregungsmittels mit kräftigen physiologischen Reactionen beantwortet, lenkt auch die Magnetnadel am beträchtlichsten ab, und umgekehrt ein vollkommen unerregbarer Nerv führt zwischen Längen- und Querschnitt keinen Strom mehr. Diese Uebereinstimmung für die Grenzfälle dehnt sich, wie man mit hoher Wahrscheinlichkeit vermuthen darf, auch für alle mittleren aus, da alle Umstände in dem Maasse auch den ruhenden Nervenstrom alteriren, in welchem sie die Erregbarkeit abstumpfen oder erheben.

Indem wir übergehen zu den Folgen, welche die in den Nerven eingeleiteten Ströme erzeugen, sehen wir ab von den Wirkungen, welche der in seiner Intensität schwankende elektrische Strom auf die Erregbarkeit ausübt, da er vorzugsweise als Erregungsmittel in Betracht kommt; er wird also in dem Maasse die Erregbarkeit vermindern, in welchem er reizend auftritt.

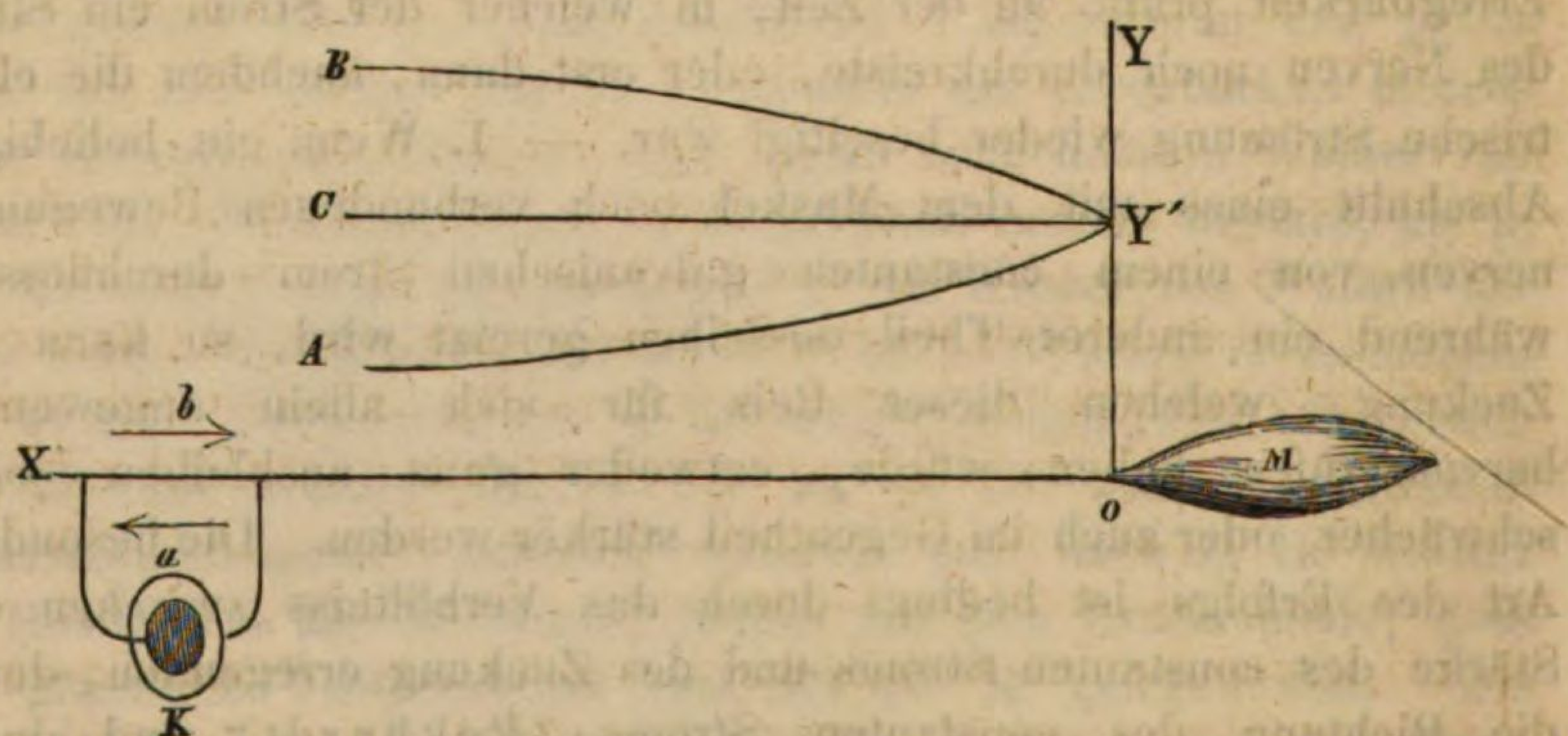
Die Beziehungen des constanten elektrischen Stroms sind bis dahin mit Schärfe nur an den Muskelnerven studirt worden; das folgende gilt also nur für diesen. Die Erfolge des constanten Stroms sind ganz verschieden gefunden worden, je nachdem man die Erregbarkeit prüfte zu der Zeit, in welcher der Strom ein Stück des Nerven noch durchkreiste, oder erst dann, nachdem die elektrische Strömung wieder beseitigt war. — 1. Wenn ein beliebiger Abschnitt eines mit dem Muskel noch verbundenen Bewegungsnerven von einem constanten galvanischen Strom durchflossen, während ein anderer Theil desselben gereizt wird, so kann die Zuckung, welchen dieser Reiz für sich allein angewendet hervorgerufen haben würde, entweder ganz ausbleiben, oder schwächer, oder auch im Gegentheil stärker werden. Die besondere Art des Erfolgs ist bedingt durch das Verhältniss zwischen der Stärke des constanten Stroms und des Zuckung erregenden; durch die Richtung des constanten Stroms (Eckhardt) und durch den Ort, an welchem das Erregungsmittel und der constante Strom angebracht wurde (Pflüger). — Wir setzen zuerst voraus,

*) Valentin, Lehrbuch der Physiologie. II. Bd. 2. Abth. 655. — C. Eckhard, Beiträge zur Anatomie u. Physiologie. 1855. 1. Hft. p. 25. — Ed. Pflüger, Allgem. Centralzeitung (Berlin) 1856. 22. Stück. — C. Eckhard, Henle's und Pfeufer's Zeitschrift. N. F. VIII. 343.

es sei ein sehr kräftiger constanter Strom eingeleitet, (2 bis 3 Daniell'sche oder Grove'sche Elemente) und lassen das Erregungsmittel, das durch einen schwachen Induktionsschlag dargestellt ist, immer 20 Millimeter entfernt von der nächsten Electrode des constanten Stroms in den Nerven einschlagen, und zwar bald zwischen dem freien Ende des letzteren und des vom constanten Strom durchflossenen Nervenstücks (oberhalb), oder bald zwischen dem constanten Strom und dem Muskel (unterhalb). — Geben wir unter diesen Voraussetzungen dem durch das Nervenstück laufenden Strom die Richtung vom Muskel zum freien oder Rückenmarksende, wir wollen sagen die aufsteigende Richtung, so bleibt die Zuckung aus, gleichgiltig ob man ober- und unterhalb des constant durchflossenen Stückes den Induktionsschlag anbringt; gibt man dagegen dem constanten Strom die absteigende Richtung (vom centralen Ende zum Muskel), so bleibt die Zuckung nur dann aus, wenn der electrische Reiz oberhalb des constanten Stroms einschlägt, während sie verstärkt erscheint, wenn der Induktionsschlag unterhalb zur Anwendung kommt (Eckhard).

Bringt man nun einen im Verhältniss zum constanten Strom stärkeren Reiz an, lässt den constanten Strom bald auf bald absteigend durch den Nerven gehen, und führt, während das eine oder andere geschieht, den elektrischen Schlag successive von den Elektroden auf und abwärts, so sollen, nach E. Pflüger, Erfolge zum Vorschein kommen, wie sie durch die Fig. 26 und 27 versinnlicht werden. In diesen

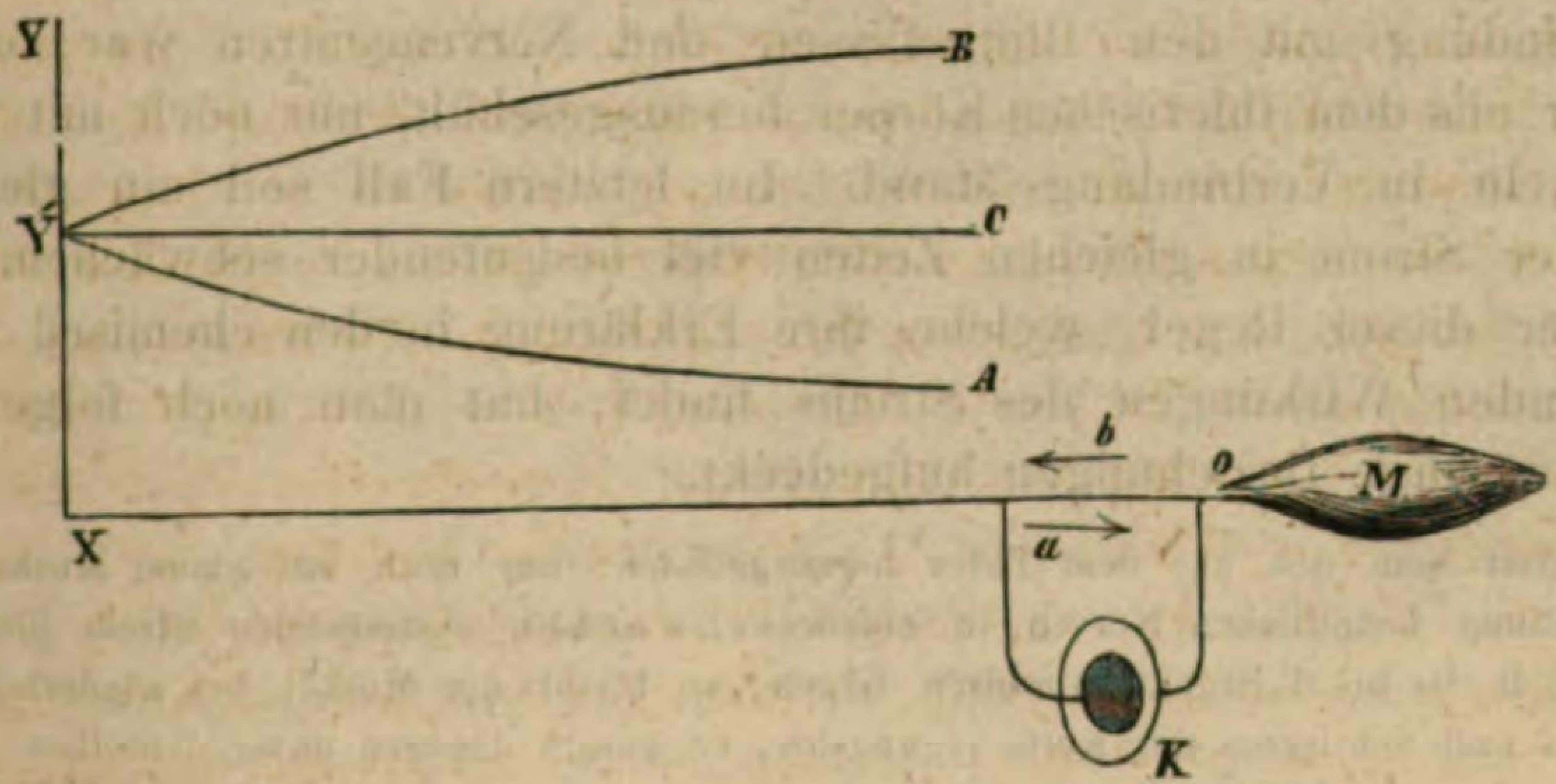
Fig. 26.



soll M den Muskel, OX den zugehörigen geradgestreckten Nerven, K die an den letztern angelegte constante Kette bedeuten. XO soll aber zugleich die Abszisse eines Coordinatensystems darstellen, auf dessen Y wir uns abgeschnitten denken die Grösse der Verkürzung, welche der Muskel M erfährt, wenn sein Nerv von einem Induktionsschlag getroffen wird. Nehmen wir nun ferner an, es seien der Reihe nach auf den Nerven von O bis X elektrische Schläge von solcher Beschaffenheit in Anwendung

gebracht, welche den Muskel jedesmal um denselben Werth verkürzt hätten, und trügen wir diese Werthe auf der erregten Nervenstelle nach *Y* auf, so würden wir durch die Verbindung aller Endpunkte eine gerade etwa *C Y'* erhalten. Legen wir nun, nachdem dieses festgestellt, den constanten Strom *K* an den Nerven und zwar

Fig. 27.



zuerst nach Fig. 26 bei *X* am Rückenmarksende desselben, und geben ihm in dem Nerven die durch Pfeil *a* angedeutete Richtung (die aufsteigende), lassen dann electrische Schläge von der früheren Beschaffenheit abermals durch den Nerven von *X* nach *O* wandern, so erhalten wir successive Werthe der Zusammenziehung, welche auf die Abszisse aufgetragen zu einer der Linie *A Y'* ähnlichen Curve führen. Aendern wir nun den Versuch dahin, dass wir den Strom der constanten Kette umkehren (Pfeil *b*), indem wir ihn im Nerven absteigen lassen, so gewinnt die durch den fortlaufenden Reiz erzeugte Zuckungslinie die ohngefähre Form von *B Y'*. In Worten ausgedrückt, würde dieses bedeuten: an dem Orte, wo der constante Strom aus dem metallischen Bogen in den Nerven eintritt, ist die Erregbarkeit am meisten vermindert, von da an steigt sie jedoch allmälig wieder an, bis sie in der Nähe des Muskels den Werth erreicht, welchen sie besass vor Anlegung der constanten Kette; und umgekehrt an dem Ort, an welchem der constante Strom aus dem Nerven wieder in den metallischen Bogen einkehrt, ist die Erregbarkeit vermehrt; von da ab wird sie allmälig erniedrigt, bis sie in die Nähe des Muskels wieder auf den Werth vor Anlegung der constanten Kette gesunken ist. — Dieselbe Regel gilt nun auch, wenn man die constante Kette in dem Nerven nahe an dem Muskel anlegt, wie aus Fig. 27 leicht zu übersehen ist, in welcher allen Buchstaben die frühere Bedeutung zukommt. — Die Mittheilungen, in welchen Pflüger seine Erweiterungen der Eckhard'schen Beobachtungen beschreibt, sind leider etwas zu abgerissen.

Die ausserordentliche Bedeutung, welche dieser Thatsachenreihe zukommt, ist einleuchtend, wenn man erwägt, dass der constante Strom die peripolar electrische Anordnung des Nerven in die dipolare umwandelt. Mit dieser Umwandlung der electrischen Eigenschaften geht also auch eine Revolution in den physiologischen vor sich.

Die Veränderungen der Erregbarkeit, welche 2. in einem Nerven zurückbleiben, der längere Zeit hindurch von einem con-

stanten Strom durchflossen war, bestehen im Allgemeinen in einer Schwächung desselben. Diese Schwächung wächst einerseits mit der Dauer, der Stärke und der Dichtigkeit des Stroms, der den Nerven durchsetzte und ist anderseits davon abhängig, ob der Nerv während des Stromdurchganges noch in seiner normalen Verbindung mit den Blutgefässen und Nervencentren war, oder ob er aus dem thierischen Körper herausgeschält, nur noch mit den Muskeln in Verbindung stand. Im letztern Fall soll ein gleichstarker Strom in gleichen Zeiten viel bedeutender schwächen. — Ausser dieser Regel, welche ihre Erklärung in den chemisch zersetzenden Wirkungen des Stroms findet, hat man noch folgende merkwürdige Beziehungen aufgedeckt.

Lässt man den aus dem Thier herausgelösten, nur noch mit einem Muskel in Verbindung befindlichen Nerven in einem schwachen absteigenden Strom längere Zeit z. B. $^1/_2$ bis 1 Stunde hindurch liegen, so bleibt der Muskel bei wiederholtem Oeffnen und Schliessen der Kette regungslos, er geräth dagegen unter denselben Umständen in die lebhaftesten Zuckungen, wenn der Strom in aufsteigender Richtung durch ihn drang. Es ist also wenigstens scheinbar durch den absteigenden Strom die Erregbarkeit gelähmt, durch den aufsteigenden aber erhöht worden, Ritter. Anders gestaltet sich die Erscheinung, wenn man statt eines schwachen einen starken Strom anwendet; in diesem Fall bleibt der Nerv scheinbar erregungslos zurück, wenn anhaltend ein Strom, gleichgiltig in welcher Richtung, durch ihn ging, denn es kann durch Oeffnen oder Schliessen desselben Stroms keine Zuckung erzeugt werden. Kehrt man nun aber die Stromesrichtung um, lässt man also z. B. einen Nerv, der bisher absteigend durchflossen war, aufsteigend durchströmen, so verhält er sich dieser neuen Strömungsrichtung gegenüber wieder erregbar; so kann man wechselnd den Nerven bald für die aufsteigende, bald für die absteigende Richtung lähmen; während er der Anregung des jeweilig entgegengesetzten Stroms Folge leistet. Volta'sche Alternative. Die Zeitdauer, in welcher die vollkommene Trägheit des Nerven gegen den gerade ihn durchkreisenden Strom eintritt, ist über eine gewisse Grenze unabhängig von der Stromstärke, Marianini. Diese ganze Erscheinungsweise der Volta'schen Alternative soll nach Marianini an dem unversehrten mit dem ganzen Thier in Verbindung befindlichen Nerven nicht sichtbar werden, indem hier in jedem Augenblick die durch den Strom erzielten Veränderungen von den nervösen Centraltheilen wieder ausgeglichen werden. — Siehe über diesen für die Theorie der Nervenwirkungen wichtigen Gegenstand du Bois, I. Bd. 258 u. f.

Die älteren Theoretiker erschlossen aus den Thatsachen, dass die Erregung die Erregbarkeit vernichte, während sie in der darauffolgenden Ruhe sich wieder herstelle, auf die Gegenwart eines Nervenäthers, welcher in der Ruhe im Nerven in einem gespannten Zustand angehäuft und in der Erregung frei werde. Dieses Lehre empfängt aber den Todesstoss durch die Reihe von Thatsachen, nach welchen auch ohne Erregung, also ohne Verbrauch des angehäuften Aethers die Schwächung sich ereignet. Da aber alles, was die physikalische und chemische Constitution ändert, den Nerven schwächt und umgekehrt die Gegenwart solcher Einflüsse, die des Blutes und der Wärme nämlich, welche die Entstehung des Nerven bedingten, auch die Nerven stärkt, so schliessen

wir jetzt, dass ein Nerv durch die Erregung, zu lang dauernde Ruhe, Erhitzung, Erkältung, electrische Ströme u. s. w. mehr oder weniger zerstört werde, und dass daher die Veränderung in der Erregbarkeit abzuleiten sei.

Eine genauere Betrachtung der Erregbarkeitsverhältnisse, als wir denselben bisher zu Theil werden liessen, ergibt, dass die angeführten Kategorien von Schwächung und Stärkung der Erregung weitab nicht ausreichen, um Alles hierher einschlagende zu umspannen. — Häufig ereignet es sich nämlich, dass der Nerv auch in der Qualität seiner Erregbarkeit Veränderungen erleidet, indem ein sehr erregbarer Nerv sich unter Umständen gegen ein Mittel vollkommen wirkungslos verhält, das zu jeder andern Zeit ihn sehr intensiv erregt haben würde. Mit andern Worten, es kommen Zustände im Nerven vor, in denen er nur gegen einen seiner gewöhnlichen Erreger abgestumpft ist, während er die Angriffe aller andern beantwortet. Hierher gehört z. B. der bekannte Fall, dass nur eine einzige Farbe in dem Sehnerven keine Empfindung mehr weckt, während er alle andern sehr lebhaft fühlt. Wir wissen über die Ursachen dieses bemerkenswerthen Phänomens nur mitzutheilen, dass durch anhaltende Dauer einer Einwirkung die Empfänglichkeit des Nerven für dieselbe abgestumpft wird. — Siehe hierüber u. A. subjective Farben beim Gesichtssinn.

b) Wechsel der Erregung mit dem Erreger. Die Beobachtung, welche sich bemüht, die gesetzmässigen Veränderlichkeiten der Erregungsstärke als eine Folge der wechselnden Kraft des Erregers aufzufassen, hat zuerst die Aufgabe, während möglichst wechselvoller Einwirkung des Erregers die Erregbarkeit entweder constant zu erhalten oder ihre Veränderungen zu eliminiren.

Dieser Forderung ist annähernd genügt 1. wenn man die Versuche, in denen verschiedene Intensitäten der Erreger auf den Nerven wirken, möglichst rasch auf einander folgen lässt, damit, (vorausgesetzt, es seien die Angriffe der Erreger nicht zu heftig gewesen) sich die Erregung von einem zum andern Versuch nicht wesentlich verändern kann. Hierbei ist es Regel, die Versuchsreihe mit der schwächsten Einwirkung beginnen zu lassen. Oder 2. man lässt die zu prüfenden in ihrer Stärke unterschiedenen Erreger zweimal in umgekehrter Reihenfolge auf den Nerven wirken, so dass man z. B. zuerst den Erreger der Stärke 1, dann den von der Stärke 2 anwendet, und dann zum zweitenmal den von der Stärke 1. Man gewinnt dadurch für den ersten Erreger Beobachtungen aus zwei Erregungsstufen, von denen die eine höher und die andere niedriger steht,

als diejenige, bei welcher der zweite Erreger angriff; man glaubt sich darum berechtigt, das Mittel aus diesen beiden Beobachtungen mit dem Erfolg des zweiten Erregers vergleichen zu können.

Der absolute Kraftwerth der Mittel, die wir als Erreger benutzen wollen, lässt sich nun allerdings leicht variiren, aber damit ist noch nicht erreicht, dass auch die Mittel in derselben Stärke oder in gleichem Verhältniss ihrer Stärke den Nerven treffen; dieses leuchtet sogleich ein, wenn wir den letztern an seiner natürlichen Lagerstätte der Erregung aussetzen, weil in diesem Falle die um den Nerven liegenden Theile dem Durchgang des Erregers einen ganz unbestimmbaren Widerstand entgegensetzen. Um dieses klar zu machen, wollen wir hier nur einen der verständlichsten Fälle herausgreifen, indem wir uns denken, es seien die Folgen von verschiedenen Wärmegraden auf den Hautnerven zu ermessen. Die hier in jedem Augenblicke zu dem Nerven dringende oder von ihm abgegebene Wärme ist geradezu abhängig von dem Unterschied der Temperaturen in der erregenden Wärmequelle und in der Haut und umgekehrt proportional dem Leitungswiderstand der Oberhaut. Da die Temperatur der Haut und der Leitungswiderstand constante Werthe sind, so wird, wie dem Anfänger jede in Zahlen ausgeführte Rechnung zeigt, das Verhältniss der auf den Nerven wirkenden Wärmemengen schon ein anderes, als das der Wärmequellen; dazu kommt nun aber noch, dass die Nerven von Flüssigkeiten (dem Blut u. s. w.) umspült sind, welche eine bestimmte Temperatur besitzen, die sich des Blutlaufs wegen stets gleich erhält. Diese fortlaufend wechselnden Flüssigkeitsmassen sind demnach als Kühl- oder Wärmeapparate zu betrachten, je nachdem die erregende Wärmequelle höher oder niedriger temperirt ist, als das Blut. Nach der Geschwindigkeit des Blutlaufes, der Leitungsgüte der das Blut umgebenden Theile u. s. w. wird dieser Apparat in mannigfaltiger Abwechslung mit eingreifen und es ist, selbst wenn man auf das Auffassen feiner Unterschiede verzichtet, vollkommen unmöglich anzugeben, welche Wärmemenge in jedem Falle aus der Wärmequelle in den Nerven eingeht. Solche Schwierigkeiten, wie die hier geschilderte, setzen sich nun überall entgegen, die von besonderer Natur sind, je nach den Nervenhüllen und den Erregern.

Man sollte nun denken, diese Fehler würden wegfallen, wenn man den blosgelegten Nerven unmittelbar der Einwirkung des Erregers aussetzte; aber auch hierdurch werden die Verhältnisse

höchstens weniger verwickelt, aber noch lange nicht einfach. Legt man z. B. an einen freiliegenden Nerven die Pole einer elektrischen Säule an, so polarisiren sich ihre Enden. Diese Polarisation schwächt sogleich den ursprünglichen Strom und zwar um einen Werth, der keineswegs der Stromstärke genau proportional geht. Aehnliches ereignet sich, wenn man den Nerven in Lösungen desselben Salzes von verschiedenem Procentgehalt legt; damit diese zu dem wirksamen Theile der Nerven dringen können, müssen sie die Scheide durchwandern, und diese Scheide setzt ebenfalls dem Salze mannigfach wechselnden Widerstand entgegen u. s. w. Siehe hierüber Eckhard*). Dazu kommen dann noch Nebenwirkungen jedes einzelnen Erregers, Zersetzung der Nervensubstanz, Verschrumpfung der Scheide u. s. w., die gar nicht in Rechnung zu bringen sind. Diese Darstellung lehrt, dass es vollkommen irrig ist, zu glauben, es steige oder falle genau, wie die objektiv zu messende Kraft des Erregers, auch seine Wirkung auf den Nerven; man kann nur behaupten, dass letztere in einem noch unbekannten Verhältniss steige oder falle mit der ersteren.

Als eine nicht zu versäumende Vorsichtsmaassregel bei dieser und allen vorhergehenden Versuchsreihen gilt nun auch, dass die Erreger immer dieselbe Zahl und dieselbe Länge der Nervenfäden treffen müssen. Mit einem Wechsel der Zahl geschieht aus bekannten anatomischen Gründen nicht allein eine Veränderung in der Summe der erregten Muskelschläuche und Drüsenröhren, sondern mit der Zahl der Nervenröhren steht auch, wie E. H. Weber gezeigt, die Intensität der Empfindung in der Beziehung, dass sie, alles Andere gleichgesetzt, mit einer Vermehrung derselben steigt und mit einer Verminderung sinkt. Somit ändert sich also durchgreifend die zum Vorschein kommende Ausdehnung der Bewegung, Menge der Absonderung und Stärke der Empfindung, selbst bei gleicher Intensität der Nervenerregung, so wie die Summe der erregten Nervenfäden eine andere wird. — Auf dieselbe Länge der erregten Nervenstreke muss aber gehalten werden, weil, wie wenigstens an einigen Nerven erwiessen, die Stärke der Erregung mit der eben erwähnten Länge wächst.

Die uns zu Gebote stehenden Erfahrungen über die Abhängigkeit der Erregungsstärken von dem Wechsel in der Kraft sowohl,

*) Henle's und Pfeufer's Zeitschrift. N. F. I. Bd. 322.

als andern Verhältnissen der Erreger, haben zu folgenden allgemeinen Ergebnissen geführt.

α) Eine gewisse Zahl von Mitteln erzeugt eine Erregung, wenn sie in constanter, oder in einer nach der Zeit sehr wenig schwankenden Stärke einwirkt; dahin gehören die constanten Drücke, welche auf den Seh- und den Hautnerven Licht- und Schmerzempfindung erzeugen; hohe und sehr niedere Temperaturen, welche nicht mehr Wärme- und Kälteempfindung, sondern Schmerz erzeugen, die den Geschmack und Geruch erweckenden chemischen Substanzen, ein constanter galvanischer Strom in den Empfindungsnerven und noch andere später besonders hervorzuhebende Mittel. Die Erregung ist von der Veränderung dieser Erreger insofern abhängig, als sie innerhalb gewisser Grenzen mit der Stärke des Erregers wächst; bei einer gewissen Höhe dieser letzteren erreicht die Erregung aber ein Maximum, welches nicht überschritten wird, mag der Erreger auch noch so beträchtliche Zuwächse an seiner Intensität erfahren.

β) Eine andere Reihe von Mitteln wird dagegen nur dann erregend, wenn sie mit einer fortlaufenden Veränderung in ihren Intensitäten auf den Nerven wirkt. So erzeugt z. B. ein constanter Druck auf das Trommelfell niemals die Empfindung des Tons, der aber sogleich zu Stande kommt, so wie das Trommelfell in hin und hergehende Schwankungen von einer bestimmten Geschwindigkeit geräth, wobei also der von demselben auf die innern Gehörwerkzeuge ausgeübte Druck, z. B. zuerst ein zusammenpressender und dann ein ausdehnender wird. Ebenso empfängt man die Empfindung der Wärme nicht durch eine constante Temperatur, sondern nur dann und so lange, als die Temperatur der Haut von einem niederen zu einem höheren Grade aufsteigt. Ein constanter electrischer Strom bringt den Muskelnerven niemals in einen Zustand, in welchem er eine Muskelzuckung hervorruft; dieses geschieht aber, wenn ihn ein Strom von stets veränderlicher an- oder absteigender Stärke durchfliesst. In diesen und zahlreichen andern Fällen steigt die Erregung 1. mit der Geschwindigkeit des Wechsels, den die Intensitäten der Erreger während ihrer Einwirkung auf den Nerven erleiden; mit andern Worten, sie ist von der in der Zeiteinheit durchlaufenen Differenz der Erregerstärke abhängig. Eine nothwendige Folgerung hieraus ist die, dass eine in der Zeiteinheit durchlaufene grosse Differenz zwischen absolut niederen Werthen der Erreger eine stärkere Erregung erzeugt, als eine geringe Differenz absolut höherer Werthe. So erscheint also z. B. wenn

wir die Hand aus Wasser von 8° plötzlich in das von 12° führen, dieses letztere uns wärmer als das von 14°, wenn wir unmittelbar vorher die Hand in Wasser von 12° getaucht hatten u. s. w. — Wenn aber 2. die Geschwindigkeit des Wechsels gleich ist, so hängt in einzelnen Fällen wenigstens die Stärke der Erregung von der Intensität der erregenden Wirkung ab, so dass ein sich abgleichender gleich grosser Unterschied zwischen zwei intensiveren Erregern lebhafter wirkt, als derselbe zwischen weniger beträchtlicheren Kräften oder umgekehrt. Doch gilt für diesen Fall ganz dasselbe, was für den unter α) verzeichneten ausgesprochen wurde, dass nämlich nur bis zu einem gewissen Grade mit dem Wachsthum der Reize die Stärke der Erregung steigt, jenseits desselben aber constant bleibt, mag nun auch der Werth der ersteren noch so sehr steigen. — Ob auch die Abgleichungsgeschwindigkeit ein Maximum besitzt, über das hinaus sie die Erregung nicht mehr steigert, ist unbekannt.

Sehr bemerkenswerth ist es noch für die Erregung durch constante sowohl, als durch schwankende Kräfte, dass durch ausserordentlich unbeträchtliche, durch andere Mittel kaum messbare Einwirkungen in den Nerven schon nahebei die Maxima der Erregung erzeugt werden.

4. Von dem Beharrungsvermögen des Nerven oder von der Zeit, welche verstreicht, bevor nach Anwendung eines Erregungsmittels auf den Nerven dieser selbst in einen merklichen Grad von Erregung gelangt, und derjenigen, welche der erregte Nerv bedarf um wieder zur Ruhe zu kommen nach Entfernung des Erregungsmittels. Trifft ein Erreger einen Nerven, so tritt, soweit uns bekannt, der Nerv an dem angegriffenen Orte sogleich in den Zustand der Erregung über. — Die eingetretene Erregung verschwindet nun auch meist momentan mit der Entfernung des Erregers; dieses Verhalten ist jedoch kein allgemeines, indem namentlich einzelne Nerven, wie die der Retina, auch die Eigenschaft zeigen, längere Zeit in dem Zustand zu verharren, in den sie durch einen intensiv oder anhaltend wirkenden Erreger versetzt sind. — Aber selbst in diesen Nerven ist für die Erregung von mittlerer Stärke das Problem gelöst, dass die inneren Zustände des Nerven der Zeit nach ein fast genauer Abdruck der veränderlichen Zustände der Erreger sind, indem sie nahebei momentan mit dem Erreger erscheinen und verschwinden.

5. Gegenseitige Mittheilungen innerer Zustände. Leitungen.

A) Im ruhigen (erregbaren) Zustande. In einer und derselben Nervenröhre können an verschiedenen Orten ihres Verlaufs verschiedene Grade der Erregbarkeit bestehen, so dass also an demselben Rohre Stellen von stärkerer und schwächerer Erregbarkeit mit einander abwechseln. Soweit Erfahrungen den Thatbestand aufgehellt haben, üben diese verschiedene Zustände keinen Einfluss auf einander aus; doch fehlen ebensowohl noch Beobachtungen als, was viel schlimmer, Beobachtungswege, die diese Lehre aufzuhellen vermöchten.

B) Im erregten Zustande*).

Innerhalb einer und derselben Nervenröhre. Wird ein aliquoter Theil einer Nervenprimitivröhre in Erregung versetzt, so theilt sich dieser Zustand auch den übrigen ursprünglich nicht erregten Theilen des Nerveninhalts mit, so dass alle diesseits und jenseits der erregten Stelle liegenden Röhrenstücke ebenfalls aus ihrer Ruhe heraustreten. Durch einen einfachen Versuch lässt sich zeigen, dass in allen ausserhalb der nervösen Centralorgane gelegenen Nervenröhren diese Mittheilung der Erregung nur durch den Röhreninhalt und nicht durch die Röhrenscheide vermittelt wird, indem nämlich ihre Weiterleitung von einem Nervenstück auf das andere nur dann möglich ist, wenn sich die Inhaltsmassen unmittelbar berühren. Hieraus folgt das von E. H. Weber zuerst ausgesprochene wichtige Gesetz, dass die innerhalb einer Nervenprimitivröhre geschehene Erregung in dieser isolirt bleibt.

Noch vor Kurzem gab man allgemein vor, die Thatsachen verlangten die Annahme, dass alle Nervenröhren ohne Ausnahme nur nach einer Richtung hin ihre Erregung weiter zu leiten vermögen, dass daher ein Theil von ihnen, nämlich die empfindungserzeugenden, nur zur centripetalen (von den Sinnesorganen zum Hirn) und ein anderer, die bewegungserzeugenden, nur zur centrifugalen Leitung befähigt seien. Die Thatsachen, welche jene Annahmen erzeugten, erläutern sich aber sämmtlich auch ohne sie, wenn man bedenkt, dass nur im Hirn an den empfindenden und nur in der muskulösen Peripherie an der bewegenden Nervenröhre ein Apparat sich findet, aus dem die bestehende Erregung erkannt werden kann; die Richtigkeit der Annahme einer einseitigen Leitung war erst dann entscheidbar, als man ein Mittel fand, um aller Orten in dem Nerven die vorhandene Erregung darzuthun; dieses Mittel ist aber der Multiplikator, welcher einen, jede Erregung constant begleitenden, Vorgang, die sogenannte negative Stromesschwankung, nachzuweisen vermag; du Bois hat nun in der

*) Joh. Müller, Lehrbuch der Physiologie. 4. Aufl. I. — Helmholtz, Messungen über den zeitlichen Verlauf u. s. w. Müller's Archiv 1850. 276. — du Bois Reymond, Untersuchungen über thier. Electr. Bd. II. p. 570 u. f. — E. H. Weber, Art. Tastsinn in Wagner's Handwörterbuch.

That gezeigt, dass in jedem Nerven die diesseits oder jenseits der erregten Stelle liegenden Molekeln in die negative Schwankung gerathen.

Der Versuch, welcher beweist, dass die Leitungsfähigkeit in den ausserhalb des Rückenmarks gelegenen Theilen an die Gegenwart des Nerveninhaltes sich knüpft, ist schon sehr alt. Schon das vorige Jahrhundert wusste, dass wenn man die Schlinge eines Fadens um einen Nervenstrang legt und dieselbe gerade so fest zuzieht, dass an der betreffenden Stelle das Nervenmark ausgequetscht wird, die Scheiden aber noch in Berührung bleiben, so dass also durch den Faden der Nerv nicht durchgeschnürt wird, die eingequetschte Stelle dem Fortgang der Erregung einen unüberwindlichen Widerstand entgegen setzt. Aus der anatomischen Thatsache, dass die Nervenröhre, meist ohne sich zu theilen, von den nervösen Centren bis zu der Peripherie verlaufe, und aus der physiologischen Erfahrung, dass sowohl beschränkte Erregungen unserer Sinneswerkzeuge beschränkte Empfindungen bedingen, also dass auch unserm Willen es frei steht, ganz beschränkte Bewegungen einzuleiten, obwohl die einzelnen Nervenröhren auf ihrem Verlauf zum Hirn in tausendfache Berührung mit anderen kommen, schloss mit gewohnter Feinheit E. H. Weber das oben ausgesprochene Gesetz, welches durch Versuche von J. Müller noch weiter bestätigt ist.

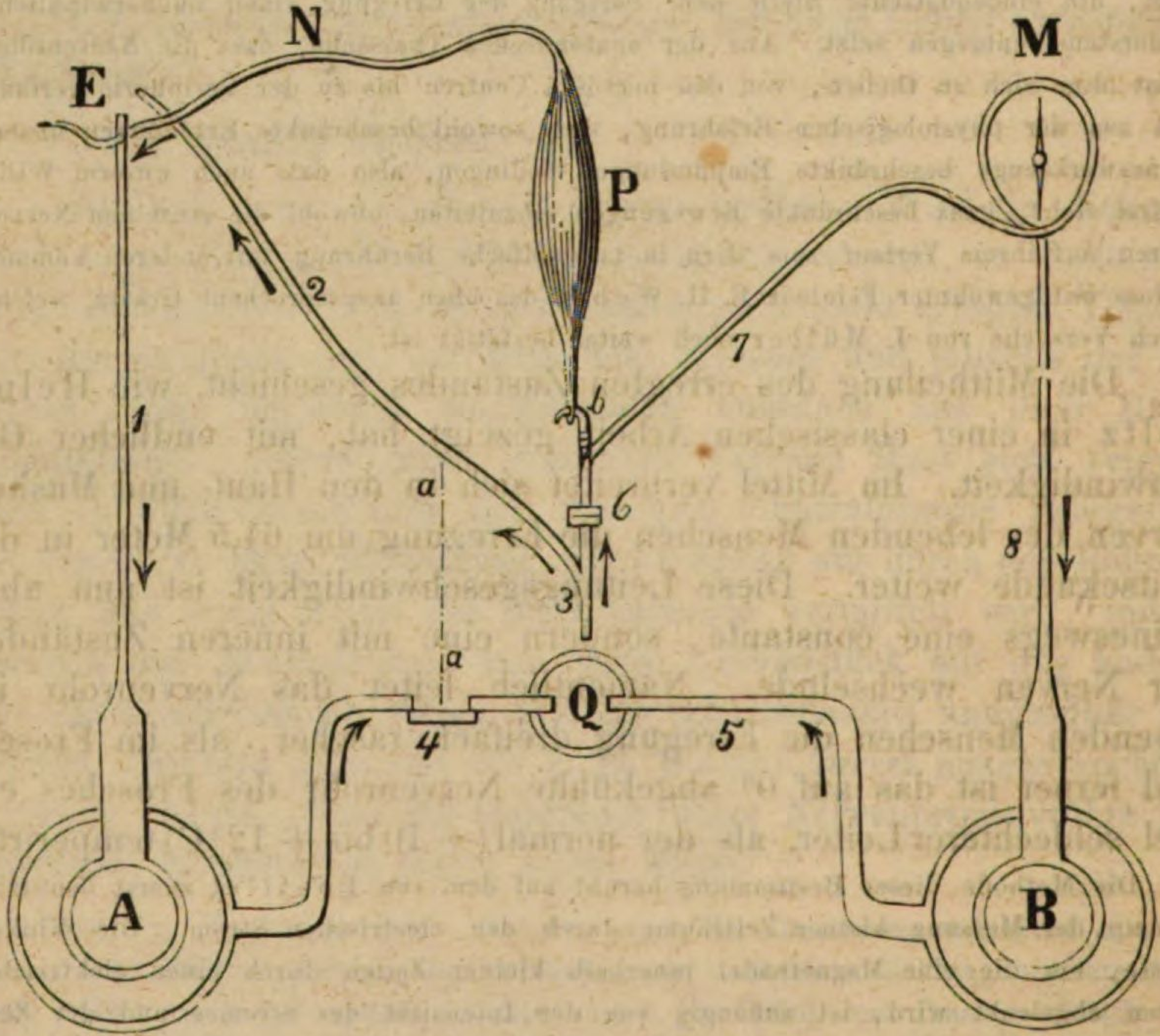
Die Mittheilung des erregten Zustandes geschieht, wie Helmholtz in einer classischen Arbeit gezeigt hat, mit endlicher Geschwindigkeit. Im Mittel verbreitet sich in den Haut- und Muskelnerven der lebenden Menschen die Erregung um 61,5 Meter in der Zeitsekunde weiter. Diese Leitungsgeschwindigkeit ist nun aber keineswegs eine constante, sondern eine mit inneren Zuständen der Nerven wechselnde. Namentlich leitet das Nervenrohr im lebenden Menschen die Erregung dreifach rascher, als im Frosch, und ferner ist das auf 0^0 abgekühlte Nervenrohr des Frosches ein viel schlechterer Leiter, als der normal ($+ 10$ bis $+ 12^0$ C) temperirte.

Die Methode dieser Bestimmung beruht auf dem von Pouillet zuerst benutzten Prinzip der Messung kleiner Zeiträume durch den electrischen Strom. Die Winkelgrösse, um die eine Magnetnadel innerhalb kleiner Zeiten durch einen elektrischen Strom abgelenkt wird, ist abhängig von der Intensität des Stromes und der Zeitdauer seiner Einwirkung, was sogleich verständlich ist, wenn man die Wirkungen des electrischen Stroms auf die Nadel als momentane Stösse auffasst, welche in ununterbrochener Reihenfolge auf dieselbe geschehen. Die Intensität des Stroms bedeutet dann soviel, als die Stärke der Stösse und die Zeitdauer der Einwirkung, die Zahl der Stösse; demnach ist die mechanische Leistung ein und desselben Stromes auf die Nadel proportional der Zeit seiner Einwirkung oder, mit Beziehung auf die Nadel gesprochen, es wird, wenn man die Nadel nur um sehr kleine Winkel schwingen lässt, ihr Schwingungsbogen bei Einwirkung von gleich starken aber ungleich andauernden Strömen direkt proportional der Zeit ausfallen. Diesem Prinzip gemäss kann die Leitungsgeschwindigkeit der Nervenerregung, oder der Zeitraum, welcher verfliesst zwischen der Erregung eines Nervenstücks in bekannter Entfernnng von einem Muskel und dem Anlangen der Erregung an dem Muskel selbst, bestimmt werden, wenn es gelingt, einen um die Magnetnadel geleiteten Strom von bekannter Intensität genau in dem Momente zum Schluss zu bringen, in welchem die Erregung im Nerven beginnt und genau in dem Moment ihn zu öffnen, in welchem die Erregung in dem

Muskel oder dem Empfindungsorgan angelangt ist. Diese Möglichkeit, welche Helmholtz verwirklicht hat, wird uns durch folgendes Schema versinnlicht.

In Fig. 28 stellten *A* und *B* zwei gleich starke galvanische Säulen vor, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 leitende Drähte, a und b zwei isolirende Stäbchen, *M* eine Magnetnadel mit umgewundenen Leitungsdrähten (Multiplikator), *Q* ein Quecksilbernäpfchen, *E N* ein Nerv, *P* sein zugehöriger Muskel.

Fig. 28.



Dieses System von Apparaten kann entweder so zusammengestellt werden, dass beide gleichstarke galvanische Säulen ihre Ströme in entgegengrsetzter Richtung durch dieselben Leitungsbogen senden, so dass die resultirende Wirkung beider auf die Nadel gleich Null wird. Dieser Fall ereignet sich bei der gezeichneten Aufstellung, wenn nämlich die Spitze bei 3 nicht in das Quecksilbernäpfchen taucht; oder es lassen sich unsere Apparate auch so stellen, dass zwei Ströme entstehen, die sich an einem Punkte *Q* 3 berühren, was eintritt, wenn die Spitze 3 in das Quecksilber *Q* getaucht wird. Die eine Strombahn, die wir die erregende nennen wollen, wird dargestellt durch *A*, 1, *E*, 2, 3, Q, 4 und die andere, welches die zeitmessende ist, wird gebildet von *B*, 8, *M*, 7, 6, 3, *Q*, 5. Beide Bahnen zeigen noch die wesentliche Einrichtung, dass sie eine Stelle besitzen, in der sie leicht unterbrochen werden können, die erregende bei 4, die zeitmessende bei 6.

Will man den Versuch beginnen, so ordnet man den Apparat zunächst in die erste Stellung, in der die resultirende des Stromes gleich Null ist, an, Nerv und

Magnetnadel bleiben während desselben in Ruhe; dann stösst man die Spitze 3 in den Quecksilbernapf *Q*, wodurch man die bisher vereinigten Ströme in zwei spaltet, von denen der eine gerade in dem Moment seine Erregung auf den Nerven beginnt, in welchem der andere (der zeitmessende) geschlossen wird. Da nun aber im erregenden Stromkreis durch Vorschieben der Spitze 3 zugleich der isolirende Stab vorgestossen und damit dies locker eingefügte Stück des Leiters 4 ausgestossen wird, so dauert dieser Strom, was zur Erregung des Nerven hinreicht, nur momentan. — Der zeitmessende Strom, der, wie wir eben sahen, im Beginn der Nervenerregung geschlossen wurde, wird nun aber geöffnet, sowie der erregte Nerv *N* den Muskel *P* in Zuckung versetzt hat, indem dieser dann das Plättchen bei 6 mittelst des isolirenden an ihn festgehefteten Stückes abhebt.

Der zeitmessende Strom wurde also genau so lange geschlossen gehalten, als die Erregung Zeit bedurfte, um von dem Nervenstück *E* zu dem Muskel zu gelangen und diesen selbst wieder in eine so kräftige Bewegung zu setzen, dass er den Strom öffnen konnte. Der hierzu nöthige Zeitraum ist aber nicht der zu messende, denn es sollte ja nur die Zeit bestimmt werden, welche verstrich bis die Erregung an dem Muskel angelangt war. Um diese zu finden, ist es nothwendig auf diesen ersten Versuch einen zweiten folgen zu lassen, indem man die Enden des erregenden Kreises möglichst nahe an den Muskel bringt, sonst aber ihn gleich dem vorigen ausführt. Eine kurze Ueberlegung zeigt, dass die Zeitunterschiede, welche in beiden Versuchen durch die Magnetnadel gegeben werden, hier nur einzig und allein davon abhängen können, dass in dem ersten Versuch, der eine stärkere Ablenkung der Nadel herbeiführte, die Erregung eine längere Nervenstrecke zu durchlaufen hatte, als im zweiten Versuch, mit andern Worten: die Differenz der in beiden Versuchen erhaltenen Zeiten ist diejenige, welche die Mittheilung der Erregung durch das zwischen beiden Erregungsstellen liegende Nervenstück bedurfte. Kennt man die leicht zu bestimmende Länge dieser Entfernung, so ist damit die Leitungsgeschwindigkeit gegeben.

Ueber die Einzelheiten dieses Verfahrens ist die Abhandlung von Helmholtz selbst nachzusehen, namentlich um Belehrung darüber zu finden, durch welche sinnreiche Mittel dieser ausgezeichnete Gelehrte die so zahlreichen Fehlerquellen zu vermeiden wusste. — Ausser dieser hat er noch eine zweite Messungsmethode angegeben und verwendet. Müller's Archiv 1852. 199.

Einiges über den todten Zustand des Nerven. Der Eintritt des todten Zustandes ist von dem Zeitpunkt an gegeben, in welchem der Nerv seine Befähigung für immer verloren hat in den erregten Zustand gerathen zu können; hiernach unterscheidet sich der todte vom erschöpften oder ermüdeten Nerv durch seine Unfähigkeit unter günstigen Umständen seine Erregbarkeit wieder zu erlangen. Die allgemeinsten Bedingungen, unter denen der Nerventod sich ereignet, sind Zerstörungen seiner Form, chemische Umwandlungen seiner wirksamen Substanz, wie z. B. Verseifung seiner Fette, vollkommene Entziehung seines Wassers, Gerinnung des Eiweisses u. s. w. und die damit in Verbindung stehende Einbusse seiner electrischen Eigenschaften.

Dieser letzte Punkt ist uns durch du Bois zugänglich gemacht; er zeigte, dass einen Nerven, der seine physiologischen Leistungen eingebüsst hat, entweder nur noch ganz schwache electrische Ströme in der ursprünglichen Richtung durchkreisen, oder dass seine ursprüngliche Stromesrichtung sich umgekehrt hat, indem seine negative Flächen positiv und die positiven negativ geworden sind. Versucht man zu dieser Zeit die Bewegungserscheinungen der elektrischen Nervenmolekeln zu erzeugen, so gelingt es wohl noch in geringem Grade den sogenannten eletrotonischen Zustand, niemals aber die electronegative Schwankung herbeizuführen. Alle diese mit geringer Intensität auftretenden Erscheinungen überdauern aber die physiologische Leistungsfähigkeit nur so kurze Zeit, dass man auch hier behaupten kann, diese und die electrischen Gegensätze gehen gleichzeitig zu Grunde.

Das Absterben der Nerven kann sich im lebenden Organismus ereignen, wie es im todten eintreten muss, weil zu demselben nur die Bedingung gehört, dass die in der Zeit sich häufenden Summen der schädlichen Einflüsse die der erhaltenden überwiegen. Da aber im lebenden Organismus diejenigen Umstände, welche eine eingetretene Störung auszugleichen vermögen, zahlreich vorhanden sind, so erträgt während des Lebens der Nerv sehr auffallende Verletzung ohne anders als vorübergehend zu erlahmen; das auffallendste Beispiel für diesen Satz bieten durchschnittene Nerven, welche, wie wir in der Ernährungslehre erfahren werden, wieder zusammenheilen und damit ihre scheinbar schon vollständig verlorenen Lebenseigenschaften wieder erhalten. — Aber auch im todten Organismus erscheint die Fähigkeit, schädlichen Einflüssen zu widerstehen, sehr verschieden. Hier sind folgende allgemeine Regeln bemerkenswerth: 1. die erregbareren Nerven sterben unter sonst gleichen Bedingungen früher ab, als die weniger erregbaren. In Uebereinstimmung hiermit erlischt die Erregbarkeit beim Warmblüter schneller als beim Kaltblüter; und ferner gehen die Nervenröhren des Hirns, des Rückenmarks und des Gesichtssinnes früher zu Grunde, als die Röhren der Nervenstämme und namentlich derjenigen, welche in die Muskeln sich verzweigen. Hierher dürfte auch die von Stannius*) beobachtete Thatsache zu ziehen sein, dass die Nerven eines während des Lebens gelähmten Gliedes nach dem Tode langsamer absterben, als die des ungelähmten. 2. die

*) Stannius, Müller's Archiv 1847.

Nerven, welche sich in bluthaltenden Körpertheilen verzweigen, erhalten ihre Erregbarkeit länger als diejenigen der blutarmen oder blutleeren; der Blutreichthum todter thierischer Theile zeigt sich nach Kilian *) besonders auffallend, sowie man ihre Nerven schädlichen das Absterben begünstigenden Einflüssen aussetzt. Wenn man z. B. aus dem einen Bein desselben todten Frosches das Blut aus den durchschnittenen Gefässen ausstreicht, während es in dem andern erhalten wurde, und dann eine bestimmte Stelle ihrer zugehörigen Nerven so lange erregt, bis keine Muskelzuckungen mehr eintreten, so erholen sich die Nervenstücke des bluthaltenden Schenkels in kurzer Zeit wieder bis zu einem solchen Grade, dass durch seine Erregung die Einleitung von Zuckungen gelingt, während der Nerv des blutarmen im todten Zustand verharrt. 3) die Muskelnerven sterben in der Richtung von ihrem Ursprungs aus Hirn und Rückenmark nach den Muskeln hin ab, so dass von einem dem Rückenmark näher gelegenen Theil derselben schon keine Zuckung mehr eingeleitet werden kann, wenn ein von ihm entfernterer sie noch zu erwecken vermag. Zu diesem von Ritter und Valli aufgefundenen Gesetz fügt du Bois die Thatsache, dass diese Reihenfolge des Absterbens weniger ausgeprägt auftritt, wenn der Muskelnerv mit den nervösen Centraltheilen in Verbindung bleibt. Dieses sog. Ritter-Valli'sche Gesetz verdient um so mehr Zutrauen, als nach du Bois auch der Nerv in der bezeichneten Reihenfolge seine Fähigkeit verliert, in die electronegative Stromesschwankung zu gerathen. Longet **) und Matteucci behaupten auch die umgekehrte Erscheinung von den Nerven der Gefühlswerkzeuge; es sollen dieselben nämlich von der Verbreitung in der Haut nach den Ursprüngen im Hirn und Rückenmark absterben, so dass die dem Ursprung näher stehenden Stücke länger erregbar bleiben, als die entfernter liegenden.

Anfänge und Bruchstücke zur Theorie der Nervenkräfte. — Der Nerv stellt, wie aus dem Vorhergehenden einleuchtet, einen sehr zusammengesetzten Apparat dar, dem keine der zahlreichen Bedingungen, die in ihn eingehen, fehlen darf, wenn er die sog. Lebenseigenschaften darbieten soll. Eine Theorie der Nervenkräfte würde demnach zu entwickeln haben, wie aus allen den verschiedenen in die Nerven eingehenden Bedingungen

*) Versuche über die Restitution der Nervenerregbarkeit nach dem Tode. Giessen 1847.
**) Archiv. general. d. Med. 1847.

gerade die ihnen zukommenden Erscheinungen mit Nothwendigkeit herfliessen. So weit nun die Wissenschaft auch noch entfernt ist von der Theorie in diesem strengen Sinne, so wenig darf sie unterlassen, ihre jeweiligen Kenntnisse zum Versuch und zu Anfängen einer solchen zusammenzufassen. In dieser Beschränkung mag Folgendes gelten.

1. Der Nerv entwickelt zu allen Zeiten seines lebendigen Bestehens freie nach aussen hin übertragbare Kräfte. Während des Lebens finden sich die den Nerven constituirenden Theile zu keiner Zeit im Gleichgewicht. Wäre dieses der Fall, so müssten die in ihn eingegangenen Substanzen ihre Kräfte so gebunden halten, dass sie jenseits und innerhalb des Nerven keine fortlaufenden Veränderungen oder stets sich neu erzeugenden Bewegungen erwirken könnten. Im Widerspruch mit dieser Voraussetzung durchkreisen aber den Nerven stetig elektrische Ströme, die jenseits seiner Grenzen die Magnetnadel ablenken, und der Nerv selbst erfährt, wenn er anhaltend in dem Zustand sog. Ruhe oder sog. Thätigkeit war, eine Umwandlung seiner chemischen und mechanischen Anordnung. Danach ist es nur ein mangelhafter Sprachgebrauch dem Nerven einen ruhigen im Gegensatz zu einem thätigen Zustand zuzuschreiben. So weit wir sicher wissen, unterscheidet sich die Erregbarkeit (Ruhezustand) von der Erregung vielmehr nur dadurch, dass, während der letzteren, die freigewordene Bewegung andere Richtungen einschlägt, vermöge deren sie auf die Muskeln, Drüsen u. s. w. wirkt. Vielleicht aber setzt auch die Erregung mehr Kräfte in Freiheit, als der physiologische Ruhezustand, und dann würde wenigstens die gewöhnliche Bezeichnungsweise relativ richtig sein.

2. Die Quellen dieser Kräfte sind chemische Umsetzungen. Die Ursachen der Kraftentwicklung in den Nerven ist wahrscheinlich in dem chemischen Umsatz der in ihnen enthaltenen Stoffe zu suchen; hierfür spricht nicht allein die Thatsache, dass die Nerven nur dann erregbar sind, wenn sie eine bestimmte chemische Zusammensetzung besitzen, sondern noch mehr, dass die Nerven durch ihr lebensvolles Bestehen im erregten, wie im unerregten Zustand ihre normale Zusammensetzung einbüssen.

Obwohl nun bis jetzt keine Analysen vorliegen, welche diese Behauptung geradezu erweisen könnten, so erscheint sie dennoch haltbar, wenn man bedenkt, dass 1. jedes chemische oder physikalische Mittel die Erregbarkeit des Nerven vernichtet, welches die Zusammensetzung desselben beträchtlich ändert. In dieser Beziehung führen ganz verschiedene Einwirkungen, die in diesem einen Punkte zusammentreffen, zu ganz gleichem Ziel; denn es wirkt eben so vernichtend die Wärme, welche das Wasser

des Nerven verdunstet, als das Liegen im Wasser, welches ihm Salze und Eiweiss (?) entzieht, dasselbe bewirken die Stoffe, welche seine eiweisshaltigen Substanzen zum Gerinnen bringen, seine Fette angreifen u. s. w. 2. Die mikroskopische Untersuchung eines Nerven, welcher während des Lebens für längere Zeit dem Einfluss erregender Wirkungen entzogen war, lehrt, dass während dieses Zustandes sogenannter Ruhe eine chemische Zersetzung der Nervensubstanz vor sich gegangen. Auf eine Zersetzung des Nerven im erregten Zustand deutet aber der Umstand, dass ein Nerv durch die Erregung seine Erregbarkeit um so rascher einbüsst, je weniger er mit Blut getränkt ist, oder wie wir uns im Sinne unserer Hypothese ausdrücken könnten, je weniger Ersatzmittel für die durch die Erregung herbeigeführten Verluste ihm geboten werden. — Aber selbst ohne diese Thatsachen würde ein jeder, dem es auch nur wahrscheinlich ist, dass dem thierischen Körper die Fähigkeit abgehe, Kräfte aus einem Nichts zu erzeugen, zu unserem Schluss kommen, weil nach den vorliegenden Thatsachen eine andere Möglichkeit der Kraftentwicklung in den Nerven gar nicht gedacht werden kann.

3. Die Kräfte, welche durch den chemischen Prozess in den Nerven frei werden, sind wahrscheinlich electrische. Nach den unendlich zahlreichen Erfahrungen der Chemie ergibt sich als ausnahmslose Regel, dass durch den Act der chemischen Umsetzung nur auf dreierlei Art Kräfte entwickelt werden, welche jenseits der entstandenen Verbindung bewegende Effecte zu erzielen vermögen. Diese drei Arten der Kraftentwicklung sind bedingt 1. durch Volumänderungen der in die Verbindung ein- oder austretenden Stoffe, 2. durch Entwicklung von Licht oder Wärme, und 3. durch Bindung oder Befreiung von Electrizitäten. Da nun bei der geschilderten Umsetzung des Nerven keine Volumveränderung eintritt, und auch der Nerv, wie Helmholtz*) dargethan, weder im Zustand der Erregbarkeit noch in dem der Erregung nachweisbare Spuren von Wärme entwickelt, so gestattet die Analogie nur den Schluss, dass die Nervenkräfte keine anderen als electrische seien.

In der That muss nun auch nach du Bois' Untersuchungen der Nerv angesehen werden, als eine Zusammenhäufung von electrischen Molekeln, deren Veränderungen und Zustände den sogenannten physiologischen durchaus parallel gehen. Der einfachen Erregbarkeit entsprach die peripolare Anordnung der Molekeln, und es war dieselbe um so vollkommener, je ausgesprochener der electrische Gegensatz in dieser Anordnung vorhanden war. Während der physiologischen Vorgänge im Nerven, welche Empfindung und Zuckung bedingten, trat aber nach Umständen entweder die dipolare Anordnung oder die negative Schwankung der Molekeln auf. Auch hier galt, wie zwischen peripolarer Lagerung und Erregbarkeit,

*) Müller's Archiv 1848. Ueber die Wärmeentwickelung bei der Muskelaction.

der Satz, dass genau, wie die Intensität der physiologischen Wirkung, die der electronegativen Schwankung wuchs. Obgleich wir bei den Muskelnerven noch einmal auf dieses letzte Verhältniss zurückkommen werden, so ist es doch hier schon schicklich folgendes anzumerken. Benutzen wir als Erregungsmittel der Muskelnerven den electrischen Strom, so ergibt sich, dass dieser den Nerv nur dann in den zuckungserregenden Zustand versetzt, wenn er von schwankender Dichtigkeit ist, nur unter dieser Voraussetzung tritt auch die electronegative Schwankung ein; die Zuckung wächst bis zu einer gewissen Grenze mit der Dichtigkeit des Stroms, genau so auch die Stärke der electronegativen Schwankung; je länger das Stück, welches der erregende Strom durchfliesst, um so stärker die Zuckung und electronegative Schwankung; schneidet der erregende Strom die Längsachse des Nerven senkrecht, so verschwindet Zuckung und electronegative Schwankung; die erregte Nervenstelle erzeugt nur so lange Zuckung, als eine ununterbrochene Verbindung des Nervenmarks von ihr bis zum Muskel besteht; unterbindet oder durchschneidet man den Nerven zwischen der erregten Stelle und seiner Einsenkung in den Muskel, so hört die Zuckung auf zu erscheinen, und ebenso jenseits der unterbundenen oder durchschnittenen Stelle die electronegative Schwankung.

Wenn diese vielfachen Uebereinstimmungen, welche durch die bedeutungsvollen Beobachtungen von Eckhard über die Beziehung zwischen Electrotonus und Erregbarkeit vermehrt werden, denen zudem nirgends ein Widerspruch entgegentritt, unzweifelhaft beweist, dass die lebendigen Aktionen des Nerven an die Gegenwart, an Bewegungen und Stellungen von Molekeln, die mit electrischen Gegesätzen behaftet sind, sich binden, so liegt nun auch die Annahme nahe, dass die Stellung u. s. w. dieser Molekeln abhängig sei von ihren electrischen Anziehungen, von Anziehungen, die, wie besonders zu betonen, nur auf eine sehr beschränkte Entfernung hin ihre Wirksamkeit entfalten.

Im vollkommenen Einklang mit dieser Annahme ist die Beobachtung von Helmholtz, über die verhältnissmässig geringe Mittheilungsgeschwindigkeit des erregten Nervenzustandes, die sich vollkommen begreift, wenn man diese Mittheilung als eine successiv auf einander folgende Anordnung der Molekeln auffasst.

Die Einwürfe, welche man gegen diese Anschauung, die du Bois zwar niemals geradezu für die seinige erklärt, die aber in Allem, was Richtiges daran, die einiges

ist und die er zur Theorie auszubilden berufen, vorbringt, sind aus Missverständnissen erzeugt. Zunächst glaubte man, es sei unverträglich mit dem Vorgetragenen, dass der durchschnittene und wieder aneinander gelegte oder mit einem feuchten Faden fest unterbundene Nerv wohl einen electrischen Strom, nicht aber die Erregung weiter leite. Dieser Einwurf würde einen Sinn haben, wenn die vorgetragene Lehre die Nervenleitung von einem den Nerven durchlaufenden electrischen Strom abhängig machte. Durch die du Bois'schen Untersuchungen ist aber gerade erwiesen, dass die im Nerven entwickelten electrischen Vorgänge einen Strom erzeugen, der vorzugsweise die Molekeln umkreist und ferner, dass aus den um alle die einzelnen Molekeln gehenden Strömen kein Gesammtstrom resultirt, der als die Summe dieser Partialströme angesehen werden kann. — Hiermit fällt auch ein zweiter oft gehörter Einwand zusammen, der nämlich, dass ein im Nervenmark entwickelter electrischer Strom in ihm nicht isolirt bleiben könne, weil die Scheide desselben ein ebenso guter Leiter sei, als das Nervenmark selbst. In der That erreichen ja, wie aus den du Bois'schen Beobachtungen hervorgeht, die Partialströme kaum die Scheide mit merklicher Stärke, während sie vielleicht in der unmittelbaren Umgebung der Molekeln mit ausserordentlicher Macht verlaufen. Man vergisst hier, wie auch vorhin, dass die Theorie immer Molekeln verlangt, welche selbst schon polarisirt durch die Wirkung der unmittelbar nebenliegenden gerichtet werden. Demgemäss würde durch die Scheide hin die electrische Wirkung sich nur dann verbreiten, wenn sie selbst aus anordnungsfähigen Molekeln bestünde. — Ebenso werthlos ist der Einwand, dass der Nerv, weil er ein schlechter E.-Leiter sei, nicht durch electrische Kräfte wirksam sein könne. In der That ist durch E. Weber's und Eckhard's Untersuchungen ermittelt worden, dass der todte Nerv nur dann leitet, wenn er mit Wasser durchtränkt ist, und endlich wird ein so dünner Wasserfaden einen sehr grossen Leitungswiderstand bieten; aber dieser Widerstand würde nur von Bedeutung für die physiologische Function sein, wenn diese statt von einer Anordnung electrischer Molekeln von electrischen Strömen abhängig wäre.

Die Hypothesen, welche man der Vorgetragenen entgegensetzt, sind, insofern sie beachtenswerth, nur unvollkommene Formen der eben entwickelten. Zu diesen gehört die von J. Müller*) und Henle**) herrührende, welche sich aus vor du Bois-scher Zeit herschreibt. Auch diese Gelehrten führen die Thatsachen zu der richtigen Ansicht, dass der Nerv seiner Mischung und Form seine Kräfte, und einer Umänderung jener eine Umwandlung der Kräfte verdanke. Hierbei liessen Beide aber ganz unerörtert, welche Art von Kräften durch diesen chemischen Akt entwickelt werden; diese Theorie enthält also die richtigen Anfänge. Ganz anders verhält es sich mit derjenigen, welche vom Nervenagens, Nervenäther u. s. w. in der verschwommenen Art medizinischen Raisonnements spricht; die Vorstellung, dass in dem Nerven ein Fluidum, welches dem Lichtäther vergleichbar wäre, sich bewege, widersprechen die Entdeckungen von Helmholtz über die Geschwindigkeit der Erregungsmittheilung vollkommen. Denn ein Aether wäre eben kein Aether, wenn sich so langsam seine Zustandsveränderungen ausglichen.

Nach diesen Darstellungen dürften sich die besondern Fragen über Nervenkräfte nun so gestalten: 1. Wie erläutern sich aus der

*) Physiologie. IV. Aufl. 544.
**) Rationelle Pathologie. I. Bd. 110.

chemischen Zusammensetzung resp. den chemischen Prozessen der Nerven die electrischen Eigenschaften derselben, oder mit welcher chemischen Umänderung steigt und fällt die Erregbarkeit und die Erregung. 2. Auf welchem Wege bewirken die sogenannten Erregungsmittel eine electrische resp. chemische Veränderung der Nerven und endlich 3. wie werden durch die electrischen Wirkungen der Nerven die Acte der Empfindung, Bewegung und Absonderung ermöglicht.

Auf die erste dieser Fragen haben wir beim gegenwärtigen Stand der chemischen Kenntnisse weder eine Antwort noch auch nur Hoffnung, demnächst zu einer schärfern Fragestellung zu gelangen. Die zweite nach dem Warum und Wie der Veränderung, welche die Nerven durch die Erregungsmittel erfahren, hängt zu innig mit der ersten zusammen, um von ihr eine Erledigung erfahren zu können. Hier ist aber der Ort darauf aufmerksam zu machen, wie es mit der vorgetragenen Theorie im Einklang steht, dass electrische Ströme so allgemeine und so intensive Erregungsmittel der Nerven sind, und daran zu erinnern, wie wir eigentlich durch die Lehre vom electrotonischen Zustand, der als ein Objekt der Empfindung eine besondere Form der Erregung darstellt, für einen Fall in unserer Erkenntniss so weit gediehen sind, als dieses ohne chemische Kenntnisse möglich, indem wir aus der bekannten Wirkung des erregenden constanten electrischen Stromes und der Gegenwart der electrischen Nervenmolekeln, die Veränderung des Nerven in einer den Thatsachen genau entsprechenden Weise ableiten konnten. — Aus den allgemeinen Umrissen, die wir vom lebenden Nerven zu geben vermögen, gelingt es uns aber auch noch ersichtlich zu machen, warum die Stärke, Art und Zeitdauer der Erregung nicht in geradem Verhältniss von den erregenden Einflüssen abhängig ist. Denn es übertragen die Erregungsmittel ihre Bewegungen, ihre Anziehungen u. s. w. nicht auf eine ruhende Masse von einfacher Anordnung, sondern es treten ihre Wirkungen nur als neue zu einer grösseren Zahl schon vorhandener, mannigfach geordneter, theils freier theils gebundener Kräfte hinzu. In einem solchen Falle können, je nachdem ein neuer Einfluss gebundene Kräfte frei macht, oder je nachdem er vorhandene Bewegung hemmt, die mannigfachsten Folgen eintreten. Gesetzt z. B. es bestände das erregte Mittel aus gleichartigen Theilen, von denen ein jeder bei einer in ihnen eingeleiteteten Veränderung selbst so viel Kräfte entwickelte, um seinen Nachbar in den gleichen oder ähnlichen

Zustand der Veränderung zu bringen, so würde ersichtlich ein Minimum äusserer Einwirkung, wie der Funken auf eine Pulvertonne genügen, um ausserordentliche Folgen zu erzeugen, die zwar augenblicklich mit dem Eintritt des äussern Einflusses begonnen, aber einmal eingeleitet von diesem ganz unabhängig wären. Gerade unter diese Kategorie von Kraftanordnung scheint der Nerv zu gehören.

Diese Disproportionalität zwischen Erregung und Erregungsmittel gab den älteren Physiologen Veranlassung zu der Meinung, dass der Nerv rücksichtlich der nach einem empfangenen Anstoss entwickelten Bewegung ganz ausserhalb dem Bereich physikalischer Gesetze stehe. In der That war die Erscheinung unerklärlich, so lange man den erregbaren Zustand des Nerven als einfache Folge eines mehr oder weniger angehäuften Nervenfluidums ansah. Zu der Zeit, als den Physiologen die Erscheinung noch räthselhaft war, bot die Technik schon eine Menge von analogen Fällen. Man hatte hier längst erkannt, dass diese Disproportionalität nur dann bestehe, wenn durch eine Einwirkung nicht einfach Kräfte übertragen, sondern bisher gebundene freigemacht wurden. Die Technik bezeichnete darum diesen Fall mit dem Namen der Auslösung der Kräfte. Nachdem nun auch hier in der Nervenlehre der wahre Sachverhalt entwickelt ist, erscheint es unpassend, auf die unklaren Vorstellungen älterer Physiologen, die sie unter dem Worte Reaktion zusammenfassen, weiter einzugehen.

Die dritte unserer allgemeinsten Aufgaben, wie die Veränderung des Nerven selbst Veranlassung zu derjenigen physiologisch beigeordneter Organe werde, ist möglicher Weise auch ohne die Erledigung der vorhergehenden zu einem gewissen Ziele zu führen, wenn die beigeordneten Organe nur selbst bekannt sind. Namentlich gewähren hier die Muskeln (und die electrischen Organe der Fische) Hoffnung, indem es gelingen könnte, das ganze Problem als ein electrisches aufzufassen, ohne Berücksichtigung der besondern Stoffe, von denen die electrischen Wirkungen ausgehen.

B. Ganglienkörper.

Da die Ganglienkörper noch nicht in der Menge isolirt worden sind, um sie auf ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften zu prüfen, so mag es auch hier unterbleiben eine anatomische Charakteristik derselben zu geben, welche man ausführlich in dem neuesten Lehrbuch der Elementaranatomie von Kölliker findet.

Die Physiologen schrieben dem Ganglienkörper sehr mannigfache Verrichtungen zu; namentlich ist ausgesprochen worden, dass sie 1. erregend auf die Nervenröhren zu wirken im Stande seien; 2. dass sie die Mittheilungsrichtung der Erregung innerhalb des Nervenmarks zu bestimmen vermöchten; 3. dass sie die in einem

Nerven vorhandene Erregung, ihrem Modus und ihrer Quantität nach zu verändern befähigt wären, entweder, indem sie die im Nerven vorhandene tetanische Erregung in eine rhythmische umwandelten, oder eine momentane aber intensive in eine dauernde und schwache umlegten, oder dass sie der in einem Nerven vorhandenen Erregung in der Art entgegen zu wirken vermöchten, dass dieser seine ihm auf analoge anatomische Elementartheile zustehende Wirkung nicht ausüben könnte.

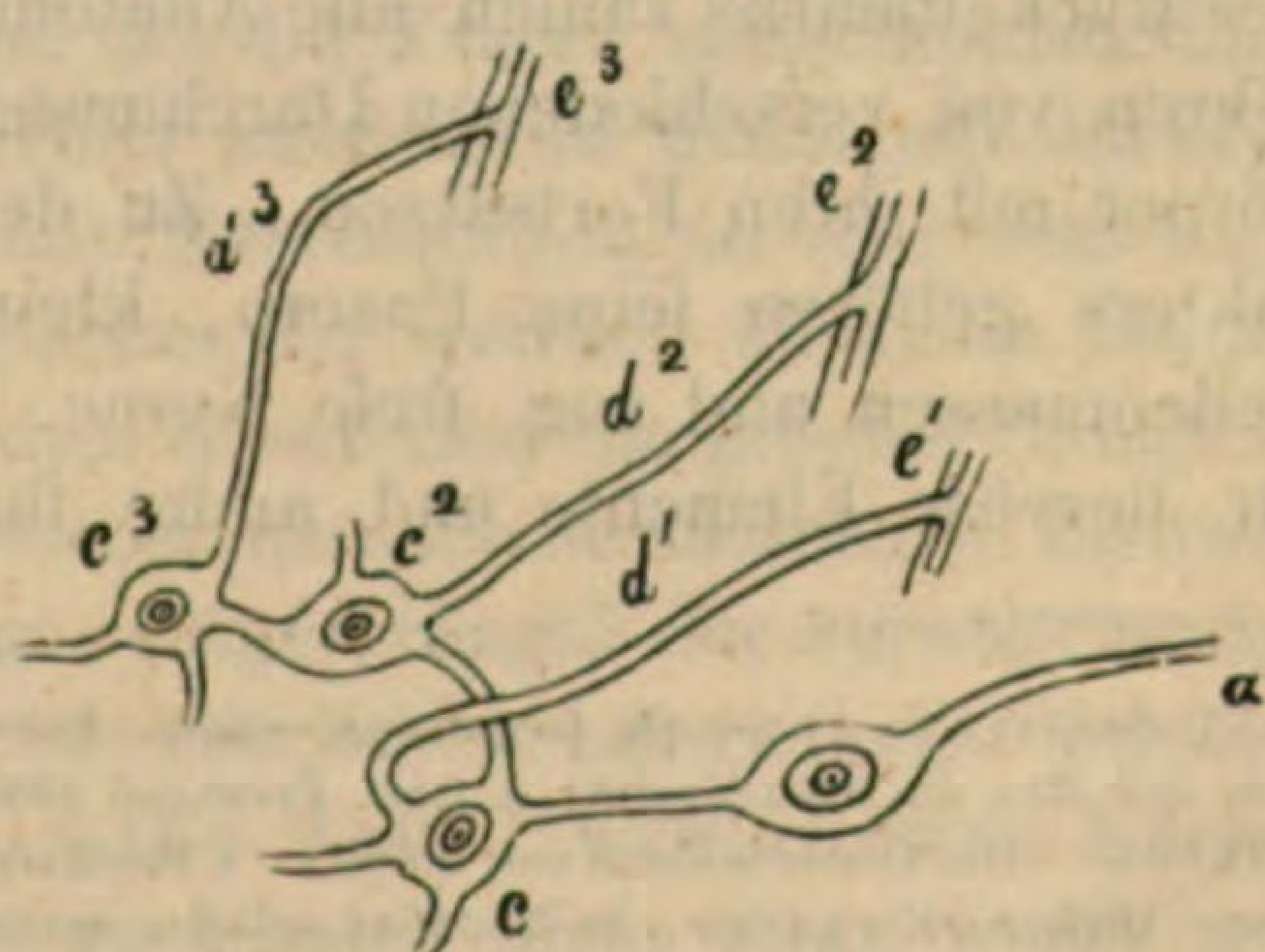
Die Beweise für die Behauptung so mannigfacher Leistungen der Ganglienkörper schöpft man aus den am Hirn und Rückenmark, in den Herznerven und im N. sympathicus beobachteten Thatsachen. An diesen Orten finden sich, wie bekannt, die Nervenröhren mit Ganglienkörpern in Verbindung und zugleich geschieht es, dass 1. die von diesen Orten ausgehenden Nervenröhren in Erregung gerathen, ohne dass irgend einer der uns bekannten Erreger auf sie gewirkt habe. In vielen, wenn auch durchaus nicht allen Fällen, bleiben die von den bezeichneten Orten ausgehenden Nerven in dauernder Ruhe, wenn sie aus ihrer Verbindung mit den Ganglienmassen gelöst sind. — 2. Nervenröhren, welche durch gewisse Ganglienanhäufungen laufen, zeigen die Eigenthümlichkeit, dass sie gegenseitig ihre Erregung einander mittheilen. So geschieht es unter gewissen Umständen, dass, wenn die in die Ganglienmasse des Rückenmarks eingehenden hintern Wurzeln erregt werden, auch die von dort hervortretenden vordern in Erregung kommen. Diese Thatsache hat nichts Auffallendes, weil nach neueren anatomischen Beobachtungen eine Verbindung beider Wurzeln durch Mark besteht. Viel auffallender ist es dagegen, dass eine Fortleitung der Erregung nicht im umgekehrten Sinne, von vorn nach hinten stattfinden kann. Diese Eigenthümlichkeit der Leitung schiebt man auf die Anwesenheit der Ganglienzellen, welche im Innern der Verbindungsröhren beider Wurzelgattungen enthalten sind. — 3. Tetanische Erregungen in den Nervenröhren, welche durch Ganglienhaufen hindurchlaufen, bedingen keine anhaltende Muskelzusammenziehung, sondern zwischen Zusammenziehung und Verlängerung schwankende Bewegungen u. s. w., oder gar statt einer Verkürzung eine Verlängerung des Muskels in welchen der Nerv tritt.

Das Unzureichende des Beweisses leuchtet aus den genannten anatomischen Gründen sogleich ein, wenn man sich erinnert, dass keineswegs die einzige anatomische [ganz abgesehen von den uns

unbekannten chemischen und physikalischen] Verschiedenheit, zwischen den Orten, welche jene physiologischen Eigenthümlichkeiten darbieten und denjenigen, welchen sie fehlen, in der Gegewart der Ganglienkörper liegt. Noch weniger aber wird man geneigt jenen Behauptungen Glauben beizumessen, wenn man aus einer genauen Zergliederung der Thatsachen erfährt, dass die Nervenröhren mit Ganglienkörpern in Verbindung sein können, ohne dass die drei der vorbemerkten physiologischen Eigenthümlichkeiten zugleich an ihnen haften, ja dass es sogar Orte zu geben scheint, an denen sie mit keiner derselben begabt sind. In der speciellen Nervenphysiologie werden wir hierauf noch zurückkommen, und wir wollen hier nur vormerken, dass in den Ganglien der hintern Wurzeln der Rückenmarksnerven, weder je Uebertragungen noch gar die selbsständige Entstehung einer Erregung beobachtet ist.

Diese Thatsachen würden nun den Zusatz zu den obigen Darstellungen erzwingen, dass verschiedene Ganglienkugeln einen verschiedenen Einfluss auf die Nervenröhren ausübten. In diesem Sinne könnte man, wie es von einzelnen Autoren auch geschehen, behaupten: 1. der Ganglienkörper wirkt bei einer gewissen Verbindungsart mit den Nervenröhren als Reizmittel. Die sogenannten einstrahligen Ganglien, diejenigen, aus welchen man die Nerven entspringen lässt, deren Existenz aber überhaupt noch zweifelhaft ist, sollen dieses vollführen. 2. Die Erregungsmittheilung soll dagegen durch die vielstrahligen geschehen; man hat sich dieses nach Rud. Wagner so zu versinnlichen, dass eine Erregung, in welche der Nerv *a* geräth (siehe Fig. 29) sich nach der Ganglienzelle *c* fortpflanze und von da durch die Aeste zu c^2 und c^3 begebe, welche hinwiederum durch die Nerven d^1, d^2, d^3, auf die Muskeln e^1, e^2, e^3, wirken. In dieser nakten Form bedeutet dieser Satz nichts weiter, als dass die Ganglien ein besonderes Verästelungsmittel der Nerven seien, mit andern Worten, es wird der in das Mark eingebettete Ganglienkörper als ein gleichgiltiges Wesen bezeichnet. Da aber an diesen Orten die Leitung nach Raum und Zeit Modi-

Fig. 29.



fikationen besonderer Art empfängt, so wäre wenigstens noch zuzusetzen, dass diese letzteren durch den Ganglienkörper bedingt würden. — Immerhin ist noch zu bedenken, dass Erregungsübertragungen auch an solchen Orten vorkommen, an denen keine vielstrahligen Ganglienzellen beobachtet wurden, e. g. am Herzen. u. s. w.

Sei dem nun aber wie ihm wolle, jedenfalls ist eins der Grundprinzipien, aus welchem die letztere Betrachtungsweise hervorging, festzuhalten, dass nämlich die sog. physiologischen Wirkungen der Ganglienkörper verschiedenartig sind. Diese Unterschiede der Wirkung können aber begreiflich entweder daher rühren, dass die Ganglienkörper bei Gleichartigkeit der Nervenröhren veschiedene Kräfte entwickeln, oder dass die Ganglienkörper überall identisch aber auf verschiedene Weise mit gleichartigen oder ungleichartigen Nervenröhren in Berührung gebracht sind. In beiden Fällen würde die Resultirende aus den Gegenwirkungen der Nervenröhre und des Ganglienkörpers, oder wie man dieselbe auch nennt, die physiologische Leistung des Ganglienkörpers verschiedentlich ausfallen.

II. Besondere Nervenphysiologie.

A. Rückenmark und Rückenmarksnerven.

Anatomisches Verhalten*). Unter die nervösen Elemente des Rückenmarks zählen alle Anatomen die dunkelrandigen Nervenröhren von verschiedenen Durchmessern, und die grossen Ganglienkörper mit ihren Fortsätzen. Zu den Gebilden zweifelhaften Charakters gehören feine Fasern, kleine, mit Ausläufern versehene Zellenmassen und sog. freie Kerne. Einige Anatomen erklären sie für nervöse Elemente und andre für Bindegewebe. Beide Theile

*) Stilling; Ueber die medulla oblongata. Erlangen 1843. Derselbe, Neue Untersuchungen über den Bau des Rückenmarks. I. Heft. Frankfurt 1856. — Clarke, Philosophic. transactions 1851. p. II. 607. — Die Dissertationen von Bidder's Schülern. (Schilling, de medullae spinalis textura. Dorp. 1852. — Kupffer, de medullae spinalis textura in ranis. Dorp. 1854. — Osjanikoff, de medullae spinalis textura in piscibus. Dorp. 1854. — Metzler, de medullae spinalis avium textura Dorpat 1855.) — Bidder u. Kupffer, Untersuchungen über die Textur des Rückenmarks. Leipzig 1857. — Schröder v. d. Kolk, Anatomisch physiolog. onderzoek over het fijnere zamenstel en de werking von het Ruggemerg. Amsterdam 1854. — J. D. Lenhossek. Neue Untersuchungen über den feineren Bau des centralen Nervensystems des Menschen. Wien 1855.

stützen sich hierbei auf die Analogie der Formen, entweder mit den Remak'schen Ganglien- und den Müller'schen Retina-Fasern und ihren Anschwellungen oder mit Bindegewebskörpern, namentlich im filum terminale, den Kernfasern und Bindegewebsfibrillen. Die Anhänger der letztern Ansicht, führen für sich noch an das Verhalten jener Gebilde gegen verdünnte Säuren (Bidder, Kupffer), in denen die feinfaserigen Massen theils wie das Bindegewebe aufquellen, theils nach Art der Kernfasern schärfer hervortreten, und endlich rufen sie noch zu Hilfe die unmittelbaren Uebergänge und Zusammenhänge dieser feinfaserigen Masse mit dem Gewebe der Gefässhaut; eine dritte Reihe von Mikroskopikern weist endlich einen Theil der feinen Fasern und die kleinsten Körperchen (?) dem Bindegewebe zu, die mittelgrossen Körper mit ihren Ausläufern dagegen den nervösen Formen. — Als unzweifelhaft nicht mit Nervenkräften begabt erscheinen endlich: eine homogene Grundmasse, Gefässe, starke Fortsätze aus der pia mater, die insbesondere in der grauen Substanz auf chemischen Wegen deutlich darzustellen sind (Keuffel*)) und Epithelialzellen in dem Centralkanal.

Die Anordnung und Verbindung der unzweifelhaft nervösen Elemente wird gegenwärtig folgendermaassen hingestellt. — In der weissen Masse kommen nur Nervenröhren vor, welche entweder mit der Längenachse des Rückenmarks parallel, oder gekreuzt gegen die letztere laufen; den Anfang der längslaufenden, deren Zahl von unten nach oben zunimmt, legt man in die graue Masse, aus der sie in die weisse umbiegen, ihr Ende aber in das Hirn. Zu den querlaufenden Röhren gehören 1. die Nervenwurzelfasern, welche aus der grauen Masse schief absteigend die weissen Hinter- und Vorderstränge durchsetzen, und 2. die Faser- oder Randstrahlen (das radiäre System), welche schief aufsteigend durch alle Stränge (hintern, vordern und seitlichen) Nervenröhren in den von Purkinje entdeckten ganglièsen plexus der weichen Hirnhaut senden (Lenhossek). — In der grauen Masse sind die grossen Ganglienkörper in die Basis der vordern Hörner (motorische Säulen), zu kleinern oder grössern Gruppen vereinigt, eingesprengt; der spindelförmige Körper eines jeden einzelnen ist mit seiner Längenachse parallel der des Rückenmarks gestellt. Die Aeste, welche diese Körper aussenden, verzweigen sich 1. zu feinsten nicht mehr weiter verfolgbaren Fäden; 2. sie gehen, bevor die feinste Vertheilung ge-

*) Reil's Archiv für Physiologie. X. Bd. 138.

schehen, Verbindungen ein mit den Strahlen der über- und anliegenden gleichgebildeten Körper auf der gleichnamigen und der ungleichnamigen Rückenmarkshälfte, oder, mit den Strahlen der kleinern Körper in den Hinterhörnern zur Darstellung eines vielmaschigen Netzes (Stilling, Schröder v. d. K.); 3. sie nehmen die ganzen Röhren oder nach andern nur die Achsencylinder der vordern Nervenwurzelfäden, und wahrscheinlich (bei Fischen gewiss, Osjannikow, Bidder) auch die der hintern Nervenwurzelfäden auf (Schilling, Bidder, Schröder v. d. K., Lenhossek); 4. sie senden aus die Fasern der Randstrahlen (Lenhossek) und endlich 5. gehen die Ganglienfortsätze über in die Längsröhren der weissen Massen (Schröder v. d. K., Bidder, Osjannikow). — Dem entsprechend sind die Ganglienkörper Vermittler der vordern mit den hintern, der rechten und linken, der höher und tiefer gelegenen Nevenwurzeln, und zugleich die Vermittler der Nervenwurzeln mit den Längsfasern des Rückenmarks. Ihre Gruppirung in Haufen würde darauf hinweisen, dass einzelne Nervenmassen, im Gegensatz zu andern, besonders innig verbunden wären.

Die Commissur, welche vor und hinter dem Centralkanal die beiden Seitenhälften des Rückenmarks verbindet, enthält keine der grössern oder mittelgrossen Ganglienkörper, sondern nur Fasern; die unzweifelhaft nervösen, unter ihnen werden bald auschliesslich für Ganglienstrahlen und Achsencylinder (Bidder, Lenhossek) und bald für ein Gemenge dieser mit Nervenröhren beschrieben; diesen letzteren weist Stilling ihren Gang vor und hinter dem Centralkanal, Andre nur vor dem Centralkanal an. — Während die meisten Beobachter sich darauf beschränken, von der Anordnung der Fasermassen daselbst auszusagen, dass sich namentlich deutlich in der sogenannten vorderen Commissur die hinteren mit den hinteren und die vorderen mit den vorderen Nervenwurzeln respect. deren Ganglienstrahlen durchkreuzen, macht Stilling sehr detaillirte Angaben. Nach ihm ist es ein constantes Vorkommen, dass durch die Commissur hindurch in Verbindung stehen die hintern und vordern Nervenwurzeln der entgegengetezten Rückenmarkshälfte. Der Unterschied, der nach Stilling zwischen den einzelnen Verbindungen besteht, liegt nur darin, dass die beiden diagonal verbundenen Wurzelfäden entweder in derselben oder in verschiedenen Horizontalebenen des Rückenmarks liegen; je nach den Fällen läuft also der Verbindungsfaden horizontal und

schief aufsteigend. Oder der Faden, welcher die beiden Wurzeln mit einander verbindet, durchläuft nicht den kürzesten Weg zwischen der hintern und vordern Wurzeln der entgegengesetzten Seite, sondern tritt noch einmal in Schlingen durch die grauen Vorderhörner oder gar in die Seitenstränge ein, um dann erst in die Wurzeln umzubiegen.

Die mitgetheilten Annahmen über die Anordnung der Elementartheile gründen sich: 1. auf die mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmende Analogie zwischen dem Rückenmarksbau der höhern Wirbelthiere und der Fische, bei welchen die primitiven Formen und ihre Verbindungen mit grosser Deutlichkeit zu Tage liegen (Bidder, Osjannikow). So richtig dieser Grund ist, so reicht er doch nicht über gewisse Grenzen hinaus, da nachweislich die Ganglienkörper der Fische nur vier Aeste tragen, von denen einer nach der gegenüberliegenden Rückenmarkshälfte, zwei andere zu den Nervenwurzeln (ein hinterer und vorderer) und der Vierte zu den Längsfasern des Rückenmarks geht. Im Gegensatz hierzu sind die Ganglienkörper der Säugethiere viel astreicher, sodass sich ihre Verbindungen nicht auf die genannten beschränken können. — 2. Die Annahme aus der Analogie wird gestützt und erweitert durch die Erfahrungen an gelungenen Längen- und Querschnitten des Rückenmarks. Diese Schnitte geben aber immer nur Anfschluss über den Verlauf und die Zusammenhänge einiger weniger Fasern und Ganglienkörper, da von den blossgelegten Elementartheilen nur wenige in dem verfertigten Schnitt ihren Anfang und ihr Ende zeigen; denn es liegen nicht alle diese Theile der erwähnten Elemente in derselben Ebene. — 3. Man nimmt endlich zu Hilfe die Streifungen und groben Züge, welche die grössern Bündel auf Schnitten darbieten, die mit niedern Vergrösserungen betrachtet werden. Diese Thatsachen sind, so hoch man ihre Bedeutung auch anschlagen mag, immerhin nur Hinweise auf den Gang, welche die genauere Untersuchung einzuschlagen hat.

Wir gehen über zu der Beschreibung der Verbindungen, welche die Elemente zweifelhaften Charakters darbieten. Die ästetragenden Körper mittlerer Gattung liegen vorzugsweise in der Basis der Hinterhörner, die der kleinsten Gattung in der gelatinösen Masse derselben, und ausserdem in der Umgrenzung der ganzen grauen Masse, dann gegen die Commissur hin, und nach Stilling, auch in der unmittelbaren Umgebung des Centralkanals. Sie sind nicht, wie die grossen Körper, gruppenweise zusammengelagert, sondern gleichmässig in dem ganzen Längenverlauf der grauen Masse vorhanden. Der feinfaserige aus wasserhellen Fäden bestehenden Stoff, dessen Fäden eingehen in die Ausläufer der kleinen Körper, ist nicht minder an allen Orten vorhanden, aber an einigen ist er so vorzugsweise vertreten, dass er dort ganz oder fast ganz das Rückenmark bildet. Hierzu gehört vor Allem die nächste Umgebung um den Centralkanal (Längsfaserschicht Clarke's, centrale Gallerte Schilling's) und die sog. hintere graue Commissur. In der centralen Gallerte geben Clarke und Lenhossek den Fasern

einen Längsverlauf, Stilling läugnet dagegen die Längsfaserung; er lässt die Masse bestehen aus einem Netz unvollkommener Circular- und Semicircularfasern, die den Centralkanal conzentrisch umziehen und aus Radialfasern, welche von den feinsten Spitzen der Epithelialzellen des Centralkanals auslaufen und radienförmig gegen die Oberfläche des Rückenmarks hinziehen; er vergleicht den hier entstehenden netzartigen Filz mit einem Spinnengewebe. Beide Faserrichtungen lassen sich noch bis in die vordere Commissur verfolgen; und zwar steht auch dort die radienförmige senkrecht gegen die von rechts nach links gehenden breiten Nervenfasern und hängt ganz schliesslich mit der pia mater zusammen, während die semicirculäre sich dem Verlauf der Nervenröhren anschliessen. In der hintern Commissur laufen sie nach demselben Schriftsteller theils parallel und theils gekreuzt mit den dunkelrandigen Röhren und bilden somit auch hier ein Netzwerk von der verwickeltesten Form.

Die capillaren Blutgefässe sind vorzugsweise reichlich in der grauen und nur sparsam in der weissen Masse vertreten.

Um die Methode der Rückenmarksuntersuchung haben sich besondere Verdienste erworben Stilling, der zuerst feine Schnitte des R.-M. anfertigen lehrte, Bidder, der die Aufmerksamkeit auf das Fischrückenmark lenkte, Clarke und Schröder v. d. Kolk, welche in den Stilling'schen Schnitten auch bei höhern Wirbelthieren durch Anwendung von Essigsäure, Chlorcalcium u. s. w. die Elementartheile sichtbar machten. Für die mikroskopische Topographie des Rückenmarks haben bis dahin in sehr ausgedehnten Untersuchungen Stilling und Lenhossek das Beste geleistet.

Physiologisches Verhalten. — Die vom Rückenmarke ausgehenden Nervenröhren stellen Bindeglieder zwischen ihm und den peripherischen Verbreitungsbezirken dar, durch die irgend welche Erregungen des Rückenmarks den äusseren Organen und umgekehrt solche der äussern Organe dem Rückenmarke mitgetheilt werden. Das Rückenmark selbst aber ist das anatomische Bindeglied zwischen Hirn und Nervenwurzeln, also müssen auch durch dasselbe die Erregungszustände der Nervenwurzeln sich dem Hirn und die des Hirnes sich den Nervenwurzeln mittheilen; in diesem Sinne ist das Rückenmark Leitungsorgan. Ausser dieser Abstraction, welche die anatomische Erfahrung an die Hand gibt, deckt der physiologische Versuch noch anderweite Eigenthümlichkeiten des Rückenmarkes auf, die sich beziehen auf eine besondere Verbreitungsart der eingetretenen Erregung, und auf ein spezifisches Verhalten gegen Erregungsmittel. — Unsere Darstellung der Nervenwurzeln und des

Rückenmarkes wird die aufgezählten Eigenschaften der Reihe nach in Betracht ziehen.

1. Verbreitung der Rückenmarksnerven in der Peripherie*). — Um den Verbreitungsbezirk einer Nervenwurzel mit Schärfe zu erfahren, ist es nothwendig, ihre Nervenröhren isolirt in Erregung zu versetzen, während sie und das Organ, auf das sie nach der Voraussetzung sichtlich einwirken, sich im vollkommen lebenskräftigen und namentlich im erregbaren Zustand befinden, und der Nerv mit dem betreffenden Organ in normaler Berührung steht. — Diesen Anforderungen ist nicht überall Genüge zu leisten.

Zur Erzielung der Erregung bedient man sich der bekannten Mittel; unter diesen würden für unsere Zwecke chemische und mechanische vorzuziehen sein, wenn sie nicht den Nachtheil mit sich führten, dass sie das unmittelbar getroffene Nervenstück entweder meist vollkommen abtödteten oder es nicht erlaubten, die Erregung örtlich nach Willkür zu beschränken. Wir sind demnach vorzugsweise auf den elektrischen Strom angewiesen; er bietet namentlich den Vortheil, dass man bei seiner Anwendung denselben Versuch oft wiederholen und damit das Ergebniss des Versuchs fester stellen kann. Seine Benutzung ist darum in allen Fällen anzurathen, wenn es möglich ist, den Nerven zur Entwicklung seiner physiologischen Kräfte zu veranlassen mit schwachen galvanischen Strömen, deren Wirkung vermittelst verschiedener Hilfsmittel auf die Nerven isolirt ist. Ein schwacher galvanischer Strom wird, wie aus früherem erhellt, nothwendig, weil hierdurch die unipolare und die paradoxe Wirkung gedämpft wird. Behufs der Isolation des angewendeten electrischen Stroms auf den Nerven lässt man den ersteren durch möglichst feine und einander möglichst genäherte, unmittelbar auf den Nerven angewendete Spitzen ausströmen, nachdem man den ersteren vorher auf eine electrisch isolirende Grundlage (Glas, Glimmer, Wachstafft u. s. w.) gebracht hat. In vielen Fällen gelingt es, trotz Anwendung aller dieser Hilfsmittes nicht, die Erregung innerhalb einer bestimmten, ursprünglich abgesondert in Thätigkeit gesetzten Zahl von Nervenröhren gebunden zu erhalten, weil die natürliche, für unsere Kunstmittel unlösbare Verbindung derselben mit andern Nervenröhren derartig angelegt ist, dass der erregte Zustand des einen Nervenrohrs Erregungsmittel für andere mit ihm in Verbindung stehende wird. In diesem Fall folgt unfehlbar auf Erregung eines Theils des Systems eine physiologische Wirkung in allen ursprünglich auch nicht erregten Gliedern desselben, wobei begreiflich der Nachweis gar nicht geliefert werden kann, ob überhaupt der ursprünglich erregte Nerv in die reagirenden Organe sich begibt.

Schliesslich sind die erwähnten Versuche oft mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet, weil nicht immer entschieden werden kann, ob das Ausbleiben eines Erfolges von der ursprünglichen Anlage des Nerven, oder von einer Erschöpfnng der Leistungsfähigkeit des Nerven oder des entsprechenden Gewebes abhängt. Dieser

*) Longet, Anatomie et Physiologie du systeme nerveux de l'homme etc. I. 1842. — Volkmann, Artikel Nervenphysiologie in Wagner's Handwörterbuch. II. Bd. — Eckhard, Ueber Reflexbewegung der vier letzten Nervenpaare des Frosches. Henle und Pfeufer VII. Bd. — Peyer ibid. N. F. IV. Bd. 52. — Stannius, das peripherische Nervensystem der Fische 1849. — Schröder v. d. Kolk, l. c. p. 7. Anm. — E. Pflüger, Medizinische Centralzeitung 1855. St. 68 u. 75. 1855. St. 32. — M. Schiff. Untersuchungen zur Physiologie des Nervensystems 1855. p. 168 u. f. — Türk, Wiener Sitzungsberichte. XXI. Bd. 586.

Uebelstand wird von um so grösserer Bedeutung, wenn es in die Lebensfunktionen eines Organes mit eingerechnet ist, unter gewissen, durch andere Kennzeichen nicht erkennbaren Umständen zeitweise dem Einfluss der Nerven entzogen zu sein. Ein negatives Resultat wird darum nur erst durch zahlreiche unter verschiedenen Bedingungen angestellte und immer gleichlautende Ergebnisse werthvoll. Man muss sich, um zur vollkommenen Einsicht in die Bedeutung der vorliegenden Untersuchungsmethode zu gelangen, einprägen, dass selbst im glücklichsten Falle nur der Nachweiss einer gewissen schliesslichen Vertheilung des Nerven geliefert, dagegen über den ganzen Verlauf des Nerven keine Auskunft ertheilt wird. Die physiologische Methodik hat noch keinen Versuch gemacht, diese letztere Frage experimental zu lösen, wozu vielleicht der electrotonische Zustand dienen könnte.

Bezüglich des Verbreitungsbezirkes der Rückenmarksnerven hat es sich als ein unzweifelhaftes Resultat ergeben, dass alle Muskeln des Rumpfes, soweit sie überhaupt von dem Rückenmark abhängig sind, nur durch die sog. vordern Rückenmarkswurzeln in Bewegung versetzt werden; dass dagegen alle Nervenröhren, welche die einzelnen Rumpftheile mit den empfindenden Stellen des Hirnes verbinden, durch die sog. hintern Wurzeln aus dem Rückenmark hervortreten. Dieser Satz, welcher unter dem Namen des Bell'schen Gesetzes bekannt ist, wird gewöhnlich auch in der Weise ausgedrückt, dass man die hintern Wurzeln die sensiblen, die vorderen die motorischen nennt. Diese kurze Bezeichnung darf mit vollem Rechte insofern aufgenommen werden, als es erwiessen ist, dass mit den hintern Wurzeln keine Nervenröhren austreten, welche durch ihre peripherischen Enden die Muskeln in Zusammenziehung versetzen können; und weiter, dass durch Erregung der vordern mit dem Gehirn in Verbindung stehenden Wurzeln niemals Empfindung bewerkstelligt wird. — Der Gegensatz zwischen motorisch und sensibel findet demgemäss in der vollkommensten Weise statt. Unerwiesen ist es dagegen, ob nicht noch Nervenröhren in einer oder in beiden Wurzeln laufen, welche andere physiologische Funktionen als die der Empfindung und der Muskelcontraktion anzuregen im Stande sind; es darf demnach der Ausdruck sensible und motorische Wurzel nicht im exclusiven Sinne gebraucht werden.

Dieses Gesetz ist für alle Wirbelthierklassen bestätigt. Denn: durchschneidet man bei erhaltener Verbindung des Rückenmarks mit dem Hirn die vorderen Wurzeln eines bestimmten Theils, so ist alle willkürliche Bewegung in ihm erloschen, die Empfindung desselben dagegen vollkommen erhalten, so dass durch entsprechende Einwirkungen (Druck, Brennen, Aetzen der Haut) Aeusserungen des lebhaftesten Schmerzes (Schreien, Fluchtversuche u. s. w.) von dem in Bezug auf seine Muskelverrichtungen gelähmten Theile eingeleitet werden können. Hat man dagegen die hintern Wurzeln mit Erhaltung der vordern durchschnitten, so tritt die umgekehrte Reihe der Erscheinungen hervor, indem nun das Glied dem Willen vollkommen unterthan ist, aber von

keinem Punkt desselben aus auch nur die geringste Schmerzensäusserung erregt werden kann; jede selbst sanfte Berührung der mit dem Rückenmark in Verbindung befindlichen Stümpfe der hintern Wurzeln erzeugt dagegen lebhafte Schmerzen.

Die Erscheinungen am durchschnittenen, vom Hirn getrennten Rückenmark ergänzen die ebengegebenen vollkommen; durchschneidet man die vordern Wurzeln an einem solchen Stumpfe, so ist keine Erregung dieses letzteren im Stande, Muskelzuckungen zu bewerkstelligen, die aber augenblicklich hervortreten, wenn man die Stücke der vordern Nervenwurzeln, welche mit den Muskeln noch in Verbindung sind, den erregenden Einflüssen aussetzt. Durchschneidet man aber nur die hintern Wurzeln eines solchen Stumpfes, so folgt jedem Eingriff auf das Mark eine Bewegung; sie bleibt dagegen vollkommen aus, sowie man die mit dem Gliedmaasse in Verbindung stehenden hintern Wurzelstücke den Einwirkungen mechanischer, electrischer etc. Effecte aussetzt.

Longet *) machte und widerrief aber später eine Beobachtung, welche im Stande gewesen wäre, die ausschliessliche Geltung des Bell'schen Gesetzes aufzuheben. Nach ihr sollten nämlich auch die vordern Wurzeln empfindlich sein; Magendie, der Longet's Beobachtungen wieder aufnahm, erklärte darauf, dass diese Empfindlichkeit den vordern Wurzeln mitgetheilt werde durch Röhren, welche mit den hintern Wurzeln aus dem Rückenmark treten, sich dann an der Verbindungsstelle beider Nervenwurzeln umbiegen; denn es wurde nach Magendie die Empfindlichkeit der vordern Wurzeln vernichtet, wenn die entsprechenden hintern durchschnitten waren.

Die einfache Auslegung, welche das Bell'sche Gesetz erfährt, wenn man aus ihm erschliesst, dass die vordern Wurzeln mit den zugehörigen Nerven zu den Verbindungsgliedern zwischen Seele (oder Willensorgan) und den Muskeln, und dass die hintern Wurzeln zu den Bindegliedern bestimmter empfindlicher Körperregionen und der Seele (oder dem Empfindungsorgan) gehören, ist nicht allseitig anerkannt. Man schliesst (oder schloss) gewöhnlicher, dass durch diese Versuche eine spezifische Natur der Nerven erwiesen werde, vermöge deren jede Art der Nerven entweder überhaupt nur zu einer ganz spezifischen Art der Reaktion befähigt wäre, d. h. entweder nur einen Bewegungs- oder einen Empfindungsakt einleiten könne, oder vermöge deren ein für beide Fälle gleichartiger innerer Zustand in den motorischen Wurzeln nur nach der Peripherie (centrifugal, rechtläufig), in den sensiblen dagegen nur nach dem Rückenmark und Hirn (centripetal, rückläufig) geleitet werden könne. An einer andern Stelle kann erst die früher begonnene Widerlegung der ersten dieser beiden Vorstellungen vollendet werden, während die der letzteren schon S. 136 gegeben ist.

Eine Vergleichung des Umfangs sämmtlicher hinteren und vorderen Wurzeln überzeugt uns, dass die hintern Wurzeln überwiegend mehr Fasern enthalten, als die vordern. Diese Behauptung würde schon richtig sein, wenn beide Wurzelmassen Nervenröhren von gleichem Durchmesser enthielten; denn es verhält sich der Querschnitt der vordern Wurzeln zu dem der hintern nach Blandin und Kölliker:

*) Longet, Traité de physiologie. Paris 1850. II. Bd. 2e part. 274. — Schiff, Archiv für physiol. Heilkunde X. Bd. 133.

Am Halsmark	= 1 : 2	oder = 1 : 2,9	mit Ausnahme des ersten Halsnerven.
„ Dorsalmark	= 1 : 1	oder = 1 : 2,0	
„ Lenden- und Sacralmark	= 2 : 3	oder = 1 : 2,2	bis zum dritten Sacralnerven incl.

Dieses Verhältniss der Zahl von distinkt aus dem Rückenmark austretenden Fasern steigert sich dagegen noch sehr zu Gunsten der hintern Wurzeln, wenn man bedenkt, dass der mittlere Durchmesser der einzelnen Röhren in den vorden Wurzeln 0,0060‴ p., in den hintern dagegen nur 0,004‴ p. beträgt. Ob dagegen die Summe der wirksamen Partikeln des Nervenmarks in den vordern Röhren auf einem entsprechenden Querschnitt beider Wurzeln geringer sei, als in den hintern, bleibt wegen der vermehrten Primitivscheiden ungewiss.

Obgleich allseitig die physiologische Bedeutung der überwiegenden Zahl sensibler Röhren nicht ermittelt ist, so ist durch dieselben zweierlei erreicht; 1. vermittelst der hintern Wurzeln ist eine grössere Zahl distinkter Punkte unserer Organe auf isolirte Weise mit dem Rückenmarke in Beziehung gesetzt, als durch die vordern, und 2. die Möglichkeit gegeben, ein und dieselbe Hautstelle in gleichzeitige und isolirte Verbindung mit mehreren Orten des Hirns und Rückenmarks zu bringen (Peyer, Schröder v. d. K., Türk).

Nach dem Erkennen dieser Gesetze sollten wir nun den Verbreitungsbezirken jedes einzelnen Wurzelbündels (da dieses für die einzelnen Nervenröhren nicht geschehen kann), in der Reihenfolge, in welcher sie vom Rückenmark austreten, aufsuchen.

Die ausserordentliche Unregelmässigkeit, die bei der Zusammenfassung der Wurzelbündel zu Nerven waltet, lässt die Bestimmung der Verbreitungsbezirke einer ganzen Wurzel weniger werthvoll erscheinen. — Die anatomische Methode der Nervenpräparation leistet zu obigem Zwecke, wegen der vielfachen Verschlingung der feinen Nervenelemente, bei der Bildung von sogenannten Nervenstämmen, Plexus und Aesten bekanntermaassen nichts. Die physiologische Präparation, deren wir uns schon zur Darstellung der verschiedenen Funktionen der hintern und vordern Wurzel bedienten, gibt uns dagegen in einer gewissen Beschränkung bei Anwendung der nöthigen Vorsicht und Ausdauer sichern Aufschluss. — Die Verfolgung der motorischen Röhren, die auf ihrem Wege nicht in einen verwickelten physiologischen Zusammenhang mit andern Nervenparthien gelangen, und in quergestreiften, insbesondere aber in Sceletmuskeln von normaler Erregbarkeit enden, denen endlich keine andere Bewegungsursache inhaerirt, gelingt dadurch, dass man die vom Rückenmark getrennte Wurzel vollkommen electrisch isolirt und vermittelst derselben den Kreis einer nicht zu kräftigen, einfachen galvanischen Kette schliesst, nachdem man noch den Muskel, in

welchem man Bewegung erwartet, bloss gelegt hat. Hat man die Wirkung des betreffenden Nerven unter dem Einfluss der Electrizität ermittelt, so muss man zur Controle derselben noch schliesslich einen mechanischen oder chemischen Einfluss auf den Nerven wirken lassen. Je erregbarer der Nerv und Muskel, um so sicherer ist der Erfolg, der bei Warmblütern nur kurze Zeit nach dem Erlöschen des Blutlaufs, bei Kaltblütern dagegen oft noch viele Stunden nach dem Stillstand des Herzens erwartet werden kann. Besondere im Einzelnen zu erwähnende Schwierigkeiten bietet dagegen die Untersuchung der Abhängigkeit des Herzens, der Gefäss- und der Eingeweidemuskeln von bestimmten Nervenwurzeln. — Die Untersuchung der Verbreitung sensibler Nervenröhren gelingt schwieriger. Die allgemeinste Vorbereitung des Versuchs besteht darin, dass man von den in das Rückenmark gehenden hintern Wurzeln nur die eine zu untersuchende mit dem Rückenmark in Verbindung lässt oder durchschneidet, und alle übrigen hintern dagegen, oder wenigstens alle in der Nähe entspringenden durchschneidet oder unversehrt lässt, und nun den vermuthlichen Verbreitungsbezirk mit schwächern oder stärkern Empfindung erregenden Einflüssen (schwachen Kalien oder Säuren, Salzlösungen, höherer Temperatur etc.) angreift.

Die Aeusserung, welche die Schmerzhaftigkeit des Angriffs bezeugt, fällt verschieden aus, je nachdem das Rückenmark noch unter dem Einflusse der sogenannten Seelenwirkungen steht oder diesen (durch Betäubung des Thiers mit Opium, Durchschneiden des Rückenmarks etc.) entzogen ist. Im erstern Falle sind die hier eintretenden Zeichen des Schmerzes (dessen Aeusserungen, abgesehen von ihrer Zweideutigkeit, auch noch an die Willkühr des Thieres gebunden sind), oft so unsicher, dass bei Kaltblütern die zweite Methode für gewöhnlich den Vorzug verdienen möchte. Die Benutzung des vom Hirn getrennten Rückenmarks ist auf die Erfahrung basirt, dass jede durch ein hinteres Nervenrohr eintretende Erregung vermöge einer eigenthümlichen Combination desselben mit den Ausläufern der vordern Wurzeln in das Mark auch eine Erregung in diesen, resp. eine Muskelzuckung bewerkstelligt, vorausgesetzt, dass sie dem Willenseinflusse entzogen sind. Die auf Ermittelung dieser Verhältnisse gerichteten Beobachtungen bedürfen einer zahlreichen Wiederholung, weil die Erregbarkeit der sensiblen Fasern noch viel rascher nach dem Tode erlischt, als die der motorischen.

Eine solche Versuchsreihe (für motorische und sensible Fasern) muss natürlich an einem der menschlichen Organisation näher stehendem Säugethier durchgeführt werden, weil man dann erst hoffen darf, aus der Beobachtung zufällig eintretender Verletzungen einzelner Nerven und Rückenmarkstheile eine vollkommene Einsicht in die Vertheilung der Rückenmarksnerven des Menschen zu gewinnen. — Eine solche Reihe steht uns nur für einzelne Theile des Kaninchens und des Hundes zu Gebote.

Eine Zusammenstellung der bei verschiedenen Thieren gewonnenen Thatsachen über die Verbreitung der Rückenmarkswurzeln ergibt:

a) Aus dem Rückenmark werden versorgt die Muskeln sämmtlicher Gefässe, das Herz (und die Augengefässe?) ausgenommen (Budge, Pflüger, Schiff); und von den Sceletmuskeln vorzugsweise solche des Rumpfs, indem von den reinen Kopfmuskeln nur der levator palpebrae und der m. radialis iridis aus dem Rückenmark Zweige erhalten (Budge, Waller). Sensible Röhren schickt es zum Rumpf und Hinterhaupt.

b) Die von einer Hälfte des Rückenmarks entspringenden Wurzeln versorgen nur Bestandtheile derselben Körperhälfte, vorausgesetzt, dass ihr Verbreitungsbezirk nicht in die Eingeweide fällt.

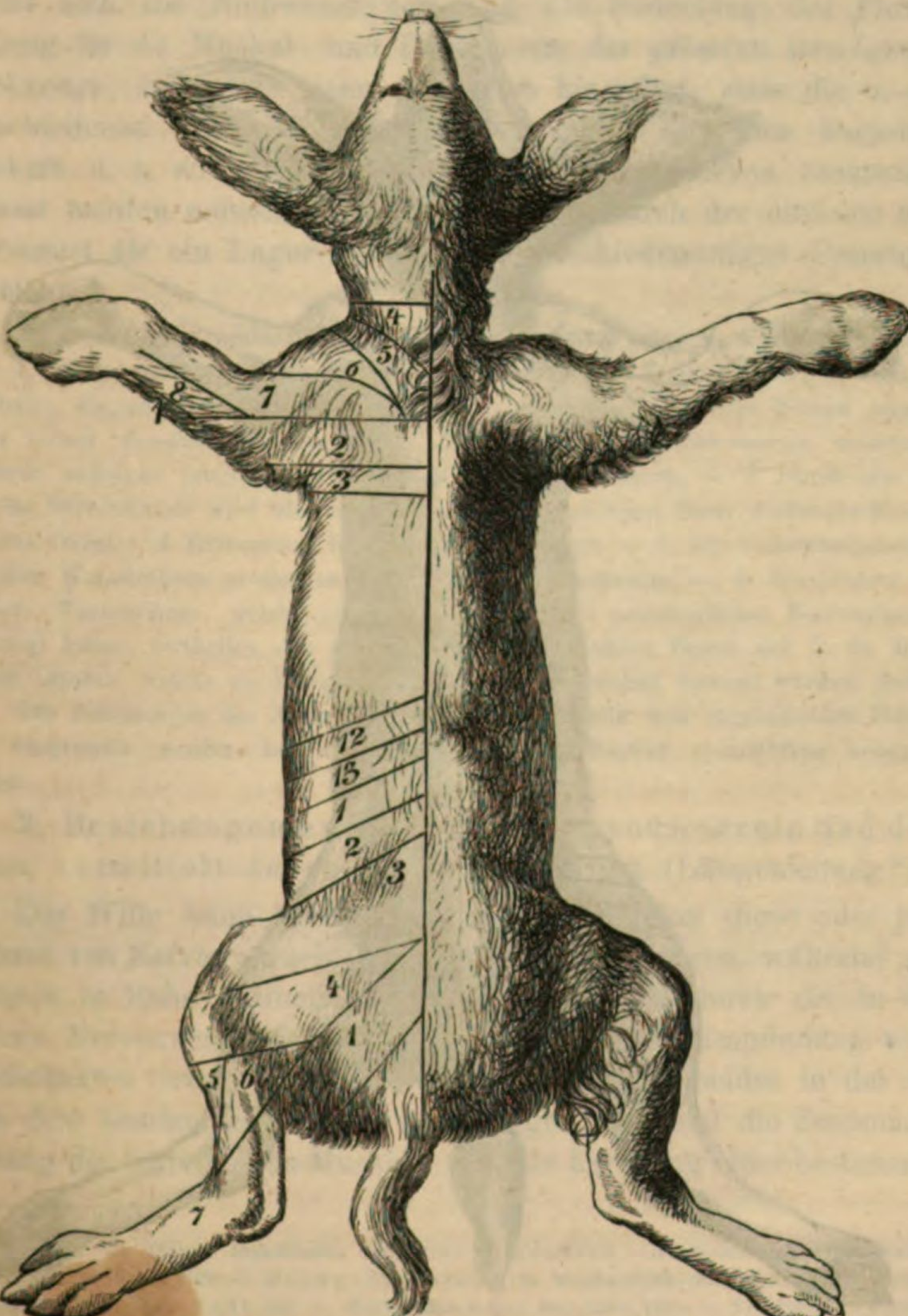
c) Einige räumlich oder functionell geschiedene Gruppen von Bewegungsorganen erhalten von einer begrenzten Abtheilung des Rückenmarks ihre Nervenröhren, ohne Berücksichtigung ihrer relativen Lage zum Rückenmark. Nach den bis dahin bekannten Beobachtungen können in diesem Sinne ausgeschieden werden: 1. die Einathmungsnerven, zu ihnen gehören Theile des 3. bis 8. Halsnerven; die Muskeln, welche versorgt werden, sind, wenn auch wenige (Mm. scaleni, sternomastoidei, Diaphragma), doch sehr auseinander gelegte, so dass sie sich ziemlich scharf ausscheiden. — 2. Nerven der obern Extremität, zu denen bekanntlich der grösste Theil der Wurzeln für den Plexus brachialis zählt und der mit seinen Aesten ebenso wie die vorhergehende Gruppe tief an den Rumpf heruntergreift, um die an den Bewegungen des Schultergerüstes oder Armes betheiligten Muskeln zu versorgen. — 3. Nerven der Gehwerkzeuge; ein grosser Theil der Wurzeln des Plexus lumbalis und sacralis. — 4. Die Muskeln der Gefässe des Kopfs und der obern Extremitäten (Artt. carotis communis und subclavia) bekommen ihre Zweige aus den unteren Hals- und den oberen Brustnerven. — Ausser diesen Gruppen dürfte eine weitere Untersuchung wahrscheinlich noch andere, die sich auf Bewegung des Kopfs, der Zunge und des Kehlkopfs, der Muskeln zur Koth- und Harnentleerung und endlich des Geschlechtsapparates beziehen, aufstellen.

d) Derselbe Muskel wird gleichzeitig von Röhren versorgt, welche durch verschiedene Wurzeln aus dem Rückenmark austreten, und umgekehrt aus derselben Wurzel begeben sich an verschiedene Muskeln Nervenzweige (Eckhard; Peyer).

e) Die Vertheilung der hintern Wurzelfäden in der Haut des Hundes ist auf das umfassendste und mit einer seltenen Gründlichkeit von Türk untersucht worden. Seine vorläufig veröffentlichten Angaben sind in Fig. 30 und 31 dargelegt. Die erste gibt eine Ansicht der Bauch-, die letztere die der Rückenfläche. Die Zahlen 4 bis 8 vom Hals zum Arm gelten für die Wurzeln der Halsnerven; 1 (vom Arm) bis 13 (am Rumpf) für die Rückennerven; 1 (vom Rumpf) bis 7 (an den Schenkeln) für die Lendenwurzeln; und 1 am Oberschenkel für den ersten Sacralnerven. Besondere Beachtung

verdienen aus dem Armgeflecht 6., 7., 8. Hals-, 1. und 2. Rückennerv. An dem Lendengeflecht aber 4., 5., 6., 7. und 1 Sakralnerv. — Diese Zusammenstellung ist insofern unvollständig, als sie

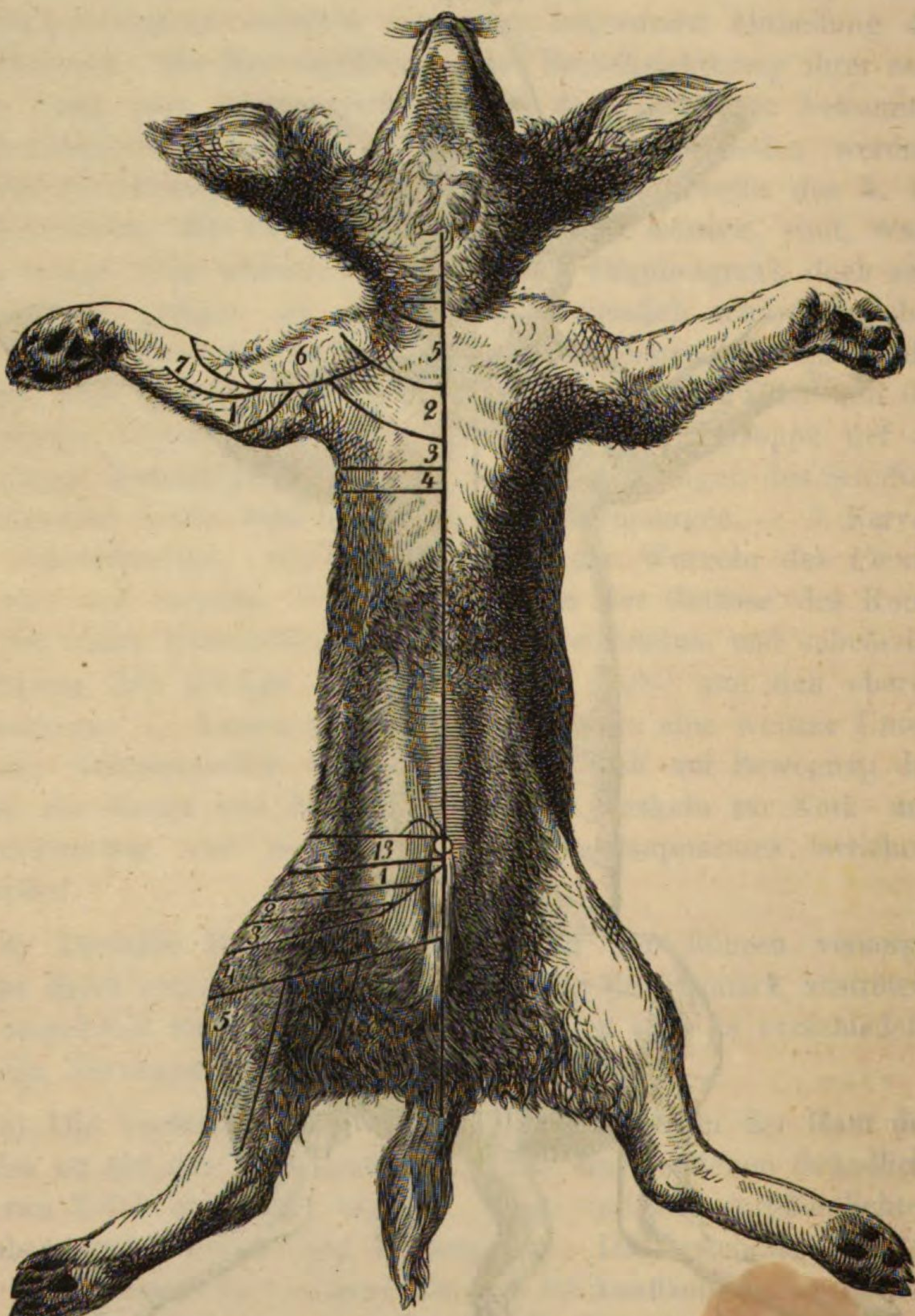
Fig. 30.



die schon aufgefundenen, aber noch nicht veröffentlichten, von mehreren Nerven gemeinsam versorgten Hautstellen genau umgrenzt. Zu diesen letztern gehören überwiegend die hintern Abschnitte der

Extremitäten (Unterschenkel, Unterarm, Hände und Füsse), indem es hier keine Stelle zu geben scheint, die nur von einer Wurzel her empfindlich wäre.

Fig. 31.



f) Schröder v. d. K. stellt, auf die anatomische Präparation gestützt, den Satz hin, dass die Gefühlsröhren eines Nervenstammes immer die Haut desjenigen Gliedantheils versorgen, das durch

die Muskeln bewegt wird, an welche derselbe Stamm die motorischen Röhren abschickte.

Aus diesen Vertheilungsgesetzen, welche mit der höchsten Wahrscheinlichkeit als überall bestehende angesehen werden dürfen, ergibt sich die Nothwendigkeit und die Bedeutung der Plexusbildung für die Muskel- und Hautnerven der grössern Bewegungswerkzeuge, besonders wenn man noch hinzufügt, dass die in den verschiedenen Wurzeln liegenden, aber für dieselben Regionen, Muskeln u. s. w. bestimmten Röhren in einen Nerven zusammengefasst werden müssen. Zugleich wird hierdurch der einzelne sog. Nervenast als ein Lager von Röhren verschiedenartigen Ursprungs bezeichnet.

Für den plexus brachialis des Kaninchens stellt Peyer noch folgende Regeln auf: 1. Wenn ein Muskel von verschiedenen Wurzeln aus Zweige erhält, so sind die Antheile, die jeder einzelne gibt, nicht gleich gross. — 2. Dieselbe Wurzel versorgt nicht immer dieselben Muskeln. — 3. Weiter nach dem Schwanzende austretende Wurzeln versorgen progressiv weiter nach der Hand gelegene. — 4. Durch eine und dieselbe Nervenwurzel wird nie, ausschliesslich ein in gleichem Sinne wirkender Muskelcomplex (vergl. z. B. Extensoren, Pronatoren etc.) versorgt. — 5. Die Verbreitungsbezirke sensibler Wurzelröhren greifen an ihren Grenzen übereinander. — 6. Die hintern und vordern Wurzelröhren, welche sich zur Bildung eines ursprünglichen Nervenstammes vereinigt haben, vertheilen sich meist so, dass die sensiblen Fasern sich in die Hautstellen begeben, welche die Muskeln, die von den motorischen versorgt wurden, decken.

Die Beziehungen der Nervenwurzeln zu den Muskeln und empfindenden Flächen der Eingeweide werden bei der Darstellung des Nervus sympathicus behandelt werden.

2. Beziehungen zwischen den Nervenwurzeln und dem Hirn, vermittelt durch das Rückenmark (Längenleitung*)).

Der Wille kann bekanntlich nach Umständen diese oder jene Summe von Nervenwurzeln des Rückenmarks erregen, während alle übrigen in Ruhe bleiben und umgekehrt kann durch die in den hintern Nervenwurzeln verlaufenden Röhren die Empfindung eines beschränkten Ortes veranlasst werden, und zwar beides in der Art, dass dem bestimmten Vorsatz zu bewegen jedesmal die Zusammenziehung der betreffenden Muskeln und der Erregung einer bestimmten

*) Ausser der früher angeführten Literatur: Eigenbrod, Ueber die Leitungsgesetze im Rückenmark; Giessen 1849. — Brown-Séquard de la transmission des impressions sensitives etc. Compt. rend. 1850. XXXI. Bd. — Recherches exper. etc. Paris 1855. — Propriétés et fonctions de la Moelle épinière; Paris 1855. — L. Türk, Ueber den Zustand der Sensibilität. Wien. Zeitschrift für d. G. d. A. März 1850. — Ergebnisse physiolog. Untersuchungen, Sitzungsberichte der Wiener Akadem. April 1851. — Ueber secundäre Erkrankung einzelner Rückenmarksstränge und ihrer Fortsetzung. Ibid. März 1851 u. Juni 1853. — Beobachtungen über d. Leitungsvermögen des menschlichen Rückenmarks. Juni 1855.

Zahl von hintern Wurzelfäden jedesmal die Empfindung einer ganz bestimmten Hautstelle folgt. Da das Vermögen zu empfinden und willkürlich zu erregen unzweifelhaft dem Hirn zukommt, so muss dieses Organ durch irgend welche Einrichtungen des Rückenmarks befähigt sein, seine auf beschränkte Orte gerichteten, resp. von beschränkten Orten ausgehenden Erregungen durch das Rückenmark isolirt zu erhalten. So lange die Anatomen lehrten, dass das Rückenmark aus parallelen Nervenbündeln bestehe, in welche die Nervenwurzeln geradezu einmündeten, durfte man sich vorstellen, dass die Uebertragung der Erregung aus den hintern Wurzelröhren in die empfindlichen Hirntheile, und die entgegengesetzt gehende des Willens in die vordern Wurzelröhren auf's einfachste vermittelt werde durch das isolirte Fortlaufen der Erregung zwischen den beide Endpunkte verbindenden Rückenmarksröhren. Diese Annahme könnte nach der neuerlichst bekannt gewordenen Structur des Rückenmarks günstigsten Falles nur aufrecht erhalten werden für den Theil der hintern Wurzeln, welcher nach Schröder v. d. K., ohne die graue Masse zu erreichen, geradezu nach aufwärts geht; für diesen wird sie aber durch die physiologische Beobachtung nicht einmal bestätigt. Die Leitung in allen übrigen Röhren, welche in das Netz der grauen Masse einmünden, empfängt dagegen, soweit wir jetzt sehen, keine Beschränkung mehr durch die blosse anatomische Anordnung; denn wie die Strahlen der Ganglienkörper allseitig auslaufen, so ist dieses auch der Erregung möglich, vorausgesetzt dass sich die Strahlen voneinander nicht durch ihre innere Anordnung unterscheiden. Angenommen aber es bestände eine solche Verschiedenheit, so könnte sie begreiflich ebensowohl in constanten Einrichtungen (bestimmte Dimension, Richtung, chemische Zusammensetzung), als auch in solchen liegen, die mit den physiologischen oder pathologischen Zuständen des Rückenmarks (Blutfülle, Einfluss des Hirns, Erregung gewisser Abtheilungen, Degeneration u. s. w.) variabel wären. Je nach den besonderen Annahmen, die man dann hinstellte, würde es ebensowohl möglich sein, dass dieselben beiden Endpunkte zu verschiedenen Zeiten durch sehr verschiedene Mittelglieder verknüpft würden, d. h. die Erregung pflanzte sich, um von einem bestimmten Hirnort zu einem bestimmten peripherischen zu gelangen, möglicherweise mit demselben physiologischen Endeffect durch sehr verschiedenartige, von den besonderen Umständen bedingte Bahnen fort; oder es wäre daneben auch noch gedenkbar, dass gewisse

Nervenröhren, welche niemals die zugehörigen Endpunkte direkt mit einander verknüpfen, doch unverletzt erhalten sein müssen, damit überhaupt die Verbindung zwischen Hirn und Nervenwurzeln möglich wäre, indem nur unter ihrem Einfluss andere Rückenmarkstheile zu Leitern befähigt werden. Die folgenden Thatsachen bedeuten darum, so lange über die eben erwähnten Dinge Ungewissheit besteht, nichts Anderes als Bedingungen für das Zustandekommen der Vermittlung; sie sagen dagegen, insofern sie positiv sind, noch nichts über die Wege selbst aus, welche die Erregung einschlägt.

Um den Einfluss der einzelnen Stränge auf die Uebertragung der verschiedenen Erregung zu fixiren, dienten folgende Verfahrungsarten. 1. Das blossgelegte oder durchschnittene Rückenmark erregte man auf der Oberfläche oder im Querschnitt. Dieses Verfahren ist so voller Fehler, dass man es am besten gar nicht mehr in Anwendung bringt. Man kann es am Säugethier nur bewerkstelligen, indem man die Temperatur- und Spannungsverhältnisse des Rückenmarks ändert; bei der Reizung der Oberflächen und insbesondere der hintern und vordern Stränge ist es kaum möglich die Nervenwurzeln zu vermeiden, insbesondere wenn man, wie die älteren Franzosen, electrische Schläge anwendet, und endlich ist nicht allein die Oberfläche eines jeden Rückenmarksquerschnittes, sondern auch die ihm zunächst gelegenen Theile erfahrungsgemäss ganz unerregbar. Man muss also mit den Erregungsmitteln (z. B. einem feinen Draht) viel zu tief in die Rückenmarksmasse eingehen, als dass man noch sicher sein könnte, die gewünschten Orte isolirt erregt zu haben. — 2. Einzelne Rückenmarkstheile werden durchschnitten, und darauf beobachtet, welche physiologische Verrichtungen an dem lebend erhaltenen Thier ausgefallen sind. Die Durchschneidung muss natürlich so ausgeführt werden, dass die Blutungen innerhalb des Rückenmarkkanales möglichst vermieden werden, und nach Beendigung des Versuchs ist das Rückenmark zu härten und die Grenze des Durchschnitts mikroskopisch festzustellen. Die Erfahrung lehrte, dass unmittelbar nach dem Durchschnitt die Erscheinungen sich etwas anders gestalten, als einige Stunden oder Tage nachher. Da die Ausbreitung der Störung im Allgemeinen mit der Lebensdauer zuerst ab- und dann zuweilen wieder zunimmt, so kann der Unterschied beider Befunde mindestens für die erste Zeit nicht auf Rechnung einer eintretenden Entzündung gebracht werden. Türk führt, um möglichst geringe Störungen durch die Operation selbst zu erhalten, ein feines schneidendes Werkzeug zwischen den Wirbelbogen ein, und durchschneidet das Mark innerhalb des Sackes der dura mater, wodurch es ihm gelingt, die Thiere viele Tage lang für die Beobachtung zu erhalten. — 3. Man beobachtet die Folgen, welche eintreten nach Structurveränderungen des selbständig und chronisch erkrankten Rückenmarks. In diesen Fällen muss, wenn sie für unsern Zweck brauchbar sein sollen, die Untersuchung der physiologischen Störungen mit grosser Sorgfalt geschehen und nach dem Tode muss das Rückenmark einer genauen mikroskopischen Analyse unterworfen werden (Türk). Unter dieser Voraussetzung sind die Beobachtungen von unschätzbarem Werthe. — 4. Man studirt die Gewebsveränderungen, welche innerhalb des Rückenmarks eintreten, nachdem entweder in Folge gewisser Hirnkrankheiten das Rückenmark der Willkür entzogen ist, oder in Folge von Leiden einzelner Nerven oder des untern Rückenmarkendes gewisse Empfindungen ausgefallen sind. Wenn nun auch

die Erfahrung festgestellt hat, dass es ganz willkürlich ist zu schliessen: es seien die entarteten Rückenmarkstheile die Bahn zwischen Nervenwurzeln und Hirn, so sind die auf diesem Wege gewonnenen Einsichten immerhin von grossem Werthe (Türk).

a) Blosslegung des Rückenmarks, gleichgiltig ob der harte Hirnhautsack geschlossen blieb oder eröffnet wurde, erzeugt beim Säugethier eine sehr rasch vorübergehende Abstumpfung der Empfindlichkeit und schwächt den Zusammenhang zwischen der Willkühr und den ihr unterthänigen Muskeln, was aus den unsicheren zitternden Bewegungen (z. B. der Gehwerkzeuge) des Thiers geschlossen wird. Diese Erscheinung verliert sich beim Offenbleiben des Kanals oft schon nach wenigen Minuten.

b) Das Einschneiden der hintern Stränge ist zuweilen schmerzhaft, zuweilen schmerzlos. Der Grund der verschiedenen Erfahrung kann darin gelegen sein, dass bei der Berührung der hintern Stränge zugleich die hintern Nervenwurzeln getroffen werden. — Vollkommene Zerstörung der Nervenröhren in einem kürzern, etwa 1 bis 2 Wirbelhöhen umfassenden Stücke der hintern Stränge lässt sich am lebenden Menschen durch gar kein Zeichen erkennen, insbesondere ist die Empfindung in keinen Theilen unterhalb der Zerstörung geschwächt oder erhöht. Erstreckt sich die Umwandlung der Hinterstränge auf mehr, etwa auf 10 bis 12 Wirbelhöhen, wobei zugleich die sie durchsetzenden Wurzelröhren zerstört sind, so folgen ausgebreitete Gefühlslähmungen und dem Willen gehorchen die zugehörigen Muskeln nur noch unvollkommen. (Türk.)

c) Durchschneidung und krankhafte Zerstörung der Vorderstränge ist bei Thieren und Menschen ohne allen Einfluss auf Bewegung oder Empfindung.

d) Die Trennung des Seitenstranges ist immer schmerzhaft; nach der Durchschneidung vermindert sich die Empfindlichkeit auf der hinter und entgegensetzt dem Schnitt gelegenen Körperhälfte, und steigert sich in der hinter und gleichseitig mit dem Schnitt gelegenen Körperhälfte. Bleiben die Thiere nach der Verletzung längere Zeit am Leben, so gewinnt die unterempfindliche Seite wieder an Empfindung, die überempfindliche aber verliert nicht daran. Die Dauer dieser Versuche ist natürlich durch die im Rückenmark eintretende Entzündung beschränkt. Brown-Séquard, Türk. — Zugleich sind die unterhalb des Schnitts gleichseitig gelegenen Muskeln dem Willenseinfluss etwas weniger gefügig, und dem Anschein nach hat auch die Bewegung der entgegengesetzten Seite an Leichtigkeit verloren; der Unterschied beider Seiten tritt nicht

bei allen Thieren ein und verschwindet einige Tage nach der Operation, indem dann beide Theile gleichmässig und vollkommen beweglich erscheinen. Beim Menschen ist eine krankhafte Zerstörung ein vollkommen gleichgiltiges Ereigniss, so lange sie sich nur über ein kurzes Stück erstreckt, indem dadurch weder Muskellähmung noch Ueber- oder Unterempfindlichkeit eintritt. Wenn aber die Krankheit längere Strecken zerstört hat, so finden sich dauernde Muskellähmungen und vorübergehende Unempfindlichkeit ein. (Türk.)

e) Zerstörung der grauen Hörner am Kaninchen bedingt keine Folgen, wenn sich dieselbe nur auf einen kurzen Raum erstreckt (Türk). — Längenschnitte durch die graue Commissur, bis zur vollkommnen Trennung beider Rückenmarkshälften, erzeugen doppelseitige Gefühlslähmung in den Nerven, welche aus dem verletzten Rückenmarksstück ihren Ursprung nehmen; alle Bewegungs- und alle ober- und unterhalb hervorgehenden Empfindungsnerven sind in unverkümmerter Verbindung mit dem Hirn. (Brown-Séquard.)

f) Werden zwei Halbquerdurchschnitte (ganze weisse und graue Masse einer Seite) am Rückenmark hintereinander ausgeführt, dann findet sich: wenn α) die zwei Schnitte auf derselben Seite sehr nahe aneinander stehen, so verhalten sich alle Nerven, welche unterhalb des ersten Schnitts eintreten, gerade so, als ob der Seitenstrang durchschnitten wäre, die zwischen den beiden Schnitten eintretenden sensiblen haben ihre Empfindlichkeit eingebüsst (Brown-Séquard). β) Zwei Schnitte auf derselben Seite in grössern Entfernungen; die Erscheinungen sind dieselben, als ob nur der obere Schnitt ausgeführt wäre (Brown-Séquard). — γ) Zwei über die Hälfte des Rückenmarks hergreifende Zerstörungen am Menschen, von denen die eine rechts und die andere links lag, verhinderten weder die Empfindung noch die willkürliche Bewegung der hinterliegenden Theile. Die Zerstörungen, welche in diesem sehr merkwürdigen Fall zugegen waren, sind in Fig. 32 a und b der folgenden Seite abgebildet. Die geschwärzten Theile sind zerstörte, a ist ein Querschnitt zwischen 5 u. 6, b zwischen 6 u. 7 Halsnerven. In diesem Fall muss jedoch bemerkt werden, dass nur der rechte Hinterstrang mikroskopisch untersucht und dort das Fehlen aller Nervenröhren constatirt wurde; für alle anderen Theile ist trotz gleicher Beschaffenheit der Entartung das Fehlen derselben nur wahrscheinlich (Türk).

g) Querdurchschneidungen, welche eine Rückenmarkshälfte ganz und an derselben Stelle über die Mittellinie hinübergreifend zugleich

einen kleinen Theil der zweiten Hälfte treffen, erzeugen Ueberempfindlichkeit in beiden Körperhälften hinter dem Schnitt. (Brown-Séquard.)

Fig. 32a.

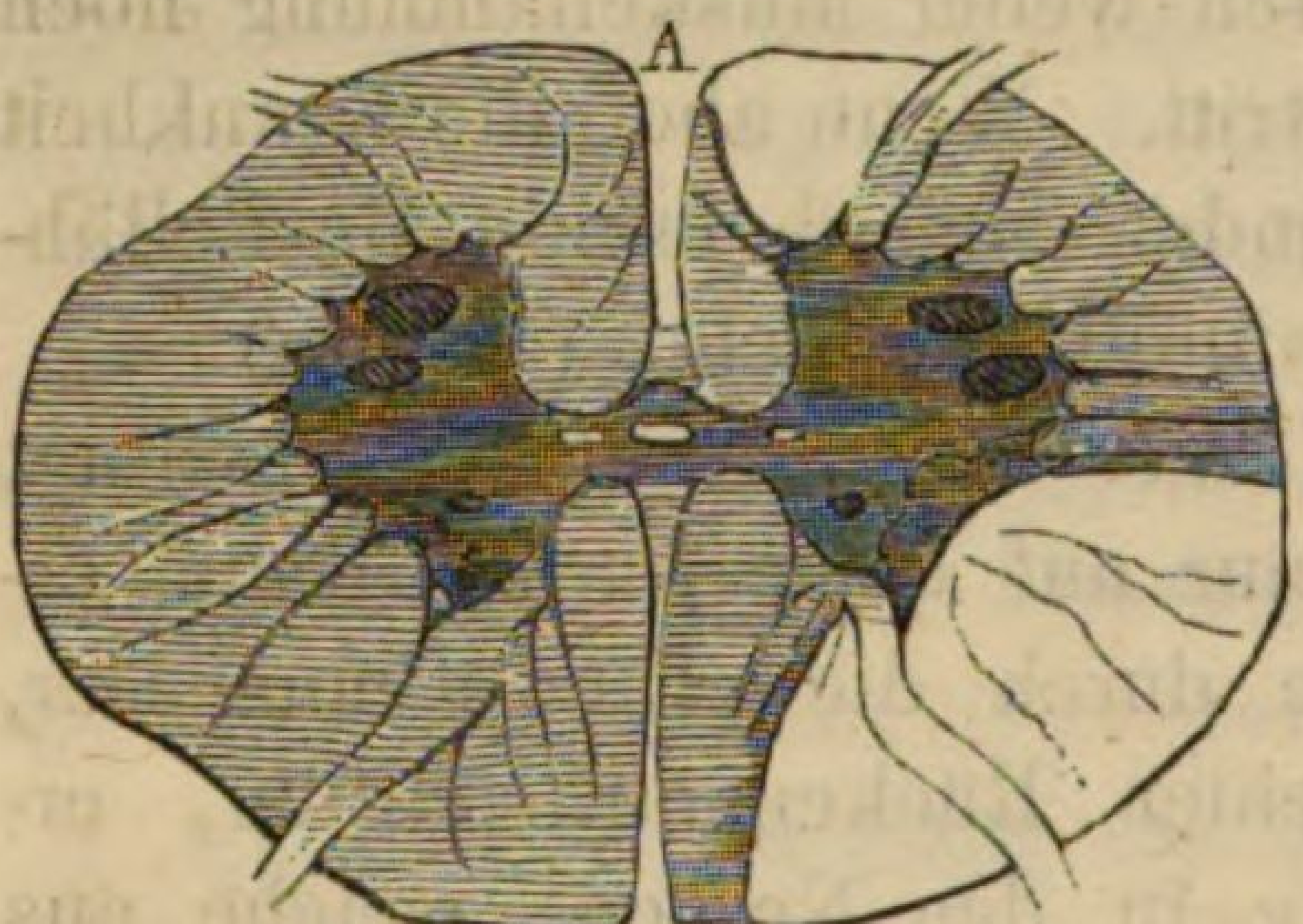
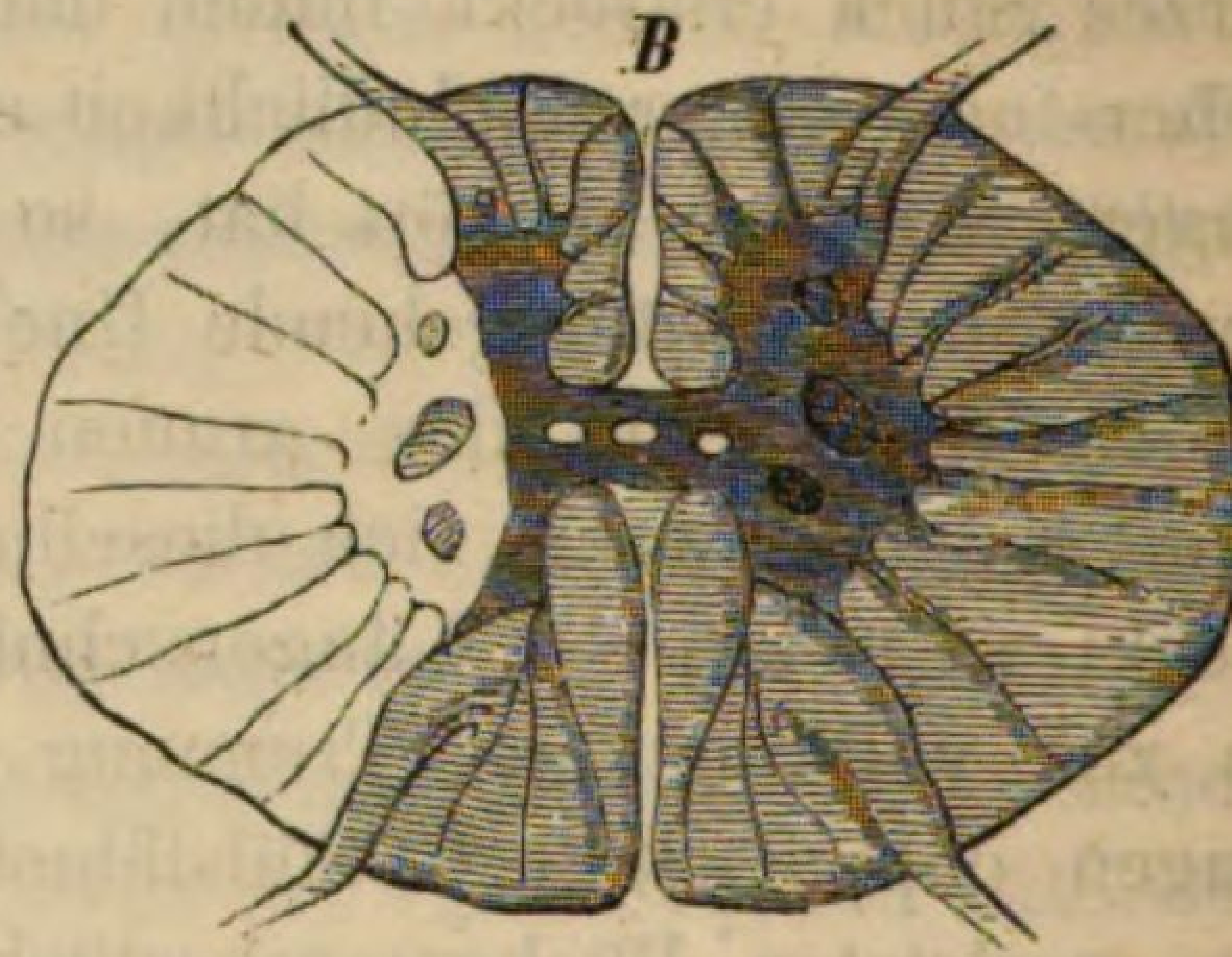


Fig. 32b.



h) Durchschneidet man das Rückenmark vollständig, so werden alle unterhalb des Schnittes gelegenen willkürlichen Muskeln und Empfindungsflächen gelähmt, niemals aber solche, welche oberhalb des Schnittes liegen.

i) Locale Hirn- und Rückenmarksentartungen bedingen nach längerem Bestehen ein Schwinden der Nervenröhren in folgenden Theilen. — Nach Blutergüssen in die innere Kapsel des Linsenkerns entartet ein Faserzug, welcher im gleichseitigen Grosshirnschenkel nach abwärts steigend sich durch die Längsfasern der gleichnamigen Brückenhälfte in die Pyramide fortsetzt und dort auf die entgegengesetzte übertritt, um als Seitenstrang nach abwärts zu laufen. Bei Heerden im ersten und zweiten Glied des Linsenkerns degenerirt neben dem eben erwähnten noch ein zweiter Strang, welcher mit dem ersten den Weg bis in die Pyramide gemeinsam macht, sich hier aber nicht kreuzt, sondern auf derselben Seite verbleibt und als innerer Abschnitt des gleichnamigen Vorderstrangs nach abwärts läuft. Bei apoplectischen Heerden im Marklager erkranken die Theile nur sehr wenig. — Bei andauernder Compression des Rückenmarks entarten unterhalb des gedrückten Ortes die Vorder- und Seitenstränge in derselben Weise wie bei den bezeichneten Hirnverletzungen. Oberhalb der gedrückten Stelle entarten in das Hirn hinein abermals die Seitenstränge und nächstdem die Hinterstränge; die letzteren lassen sich verfolgen bis in die Begrenzung des vierten Ventrikels (zarte Stränge). Die Elemente der Seitenstränge, welche von unten nach oben degeneriren, steigen bis zum verlängerten Mark und schei-

den sich scharf von denen, welche in Folge der Hirnherde entarteten; sie setzen sich nämlich nicht in die Pyramiden u. s. w. fort, sondern sie steigen ohne sich zu kreuzen in dem seitlichen hintern Theile des verlängerten Markes zum corpus restiforme und gehen mit diesem bis in das kleine Gehirn. Alle diese Entartungen folgen also den Strängen, aus welchen, nach der Gall'schen Methode zu präpariren, das Rückenmark bestehen soll. (Türk.)

Hält man die vorliegenden Thatsachen für unumstösslich und schlussreif, so bedeuten sie jedenfalls, dass zwei einander zugeordnete Funktionen des Hirns und der Peripherie auf mehr als einem Wege in Verbindung treten können, und noch mehr, es wird wahrscheinlich, dass verschiedene zugeordnete Hirn- und Körpertheile sich desselben Weges bedienen können, um zu correspondiren. Wäre dieses sicher, so würde das räumliche Vorstellen nicht mehr abhängig gemacht werden dürfen von der räumlichen Anordnung der nervösen Hirntheile.

Man hat unter einseitiger Berücksichtigung der bei Vivisectionen gewonnenen Erfahrungen freilich noch mancherlei andere Schlüsse gezogen, deren Widerlegung aber aus den obenstehenden Thatsachen von selbst folgt. — Die Resultate der Froschvivisectionen sind absichtlich zur Seite gelassen, weil sich ein enthirnter und ein hirntragender Frosch zu wenig von einander unterscheiden, als dass die gegenwärtigen Hilfsmittel genügten zur Trennung seines willkürlichen vom unwillkürlichen Verhalten.

3. Leitung der Erregung von einer zur andern Nervenwurzel durch das Rückenmark. Querleitung*).

Im Gegensatz zu den bisher behandelten Leitungen kann nun auch eine Erregung, die durch eine beschränkte Zahl von Wurzelröhren in das Rückenmark eingetreten ist, sich auf andere Wurzelröhren verbreiten, ohne dass sie zugleich in das Hirn zu dringen braucht. Diesen gegenseitig erregenden Einfluss üben entschieden die sensiblen auf motorische Röhren; ein Gleiches vermuthet man zwischen motorischen und motorischen, sensiblen und sensiblen, motorischen und sensiblen.

A) Mittheilung der Erregung von sensiblen Röhren auf motorische; übertragene Bewegung, Reflexbewegung. Die Bedingungen zum Eintritt dieser Bewegungen bestehen im Allgemeinen in einem günstigen Zustand der Erregbarkeit aller in Betracht kommen-

*) Kürschner, Uebersetzung von Marshall Hall's Abhandlungen über das Nervensystem. Marb. 1840. — Volkmann's Artikel Nervenphysiologie. Wagner's Handwörterb. II. 529. — Henle, rationelle Pathologie I. Bd. 204. — Ed. Pflüger, Die sensorischen Funktionen des Rückenmarks. Berlin 1853. — Derselbe, Allgemeine Monatschrift für Wissenschaft u. Literatur. Mai 1854. — Auerbach, Ueber physische Thätigkeiten des Rückenmarks. — Valentin's Jahresbericht über 1853. p. 217.

den Nerven- und Muskeltheile, einer zweckmässigen Anlegung der Erregungsmittel, und für eine gewisse Zahl von Uebertragungen in einer möglichst vollständigen Vernichtung des Willenseinflusses auf das Rückenmark.

Die Versuche, welche die reflektorische Erregung darthun, gestalten sich sehr einfach. Man dekapitirt ein Thier und erregt auf irgend eine Art einen sensiblen Nerven mit der Vorsicht, keinen motorischen zu treffen. Die Folge dieser Erregung ist fast aller Orts eine Bewegung gewisser Muskeln oder Muskelgruppen. — Zum Beweis, dass diese Uebertragung der Erregung nur mit Hilfe des Rückenmarks geschieht, trennt man die sensible Wurzel von diesem ab; nach dieser Operation bleiben die wie früher angewendeten Erregungsmittel ohne Erfolg, der aber sogleich wieder in der ursprünglichen Weise hervortritt, wenn man den noch mit dem Rückenmark verbundenen Stumpf der sensiblen Wurzel auf passende Weise erregt. Die Gegenwart des ganzen und unverletzten Rückenmarks ist dagegen nicht nöthig; es scheint als Regel ausgesprochen werden zu können, dass beim Bestehen aller andern Bedingungen so lange Reflexbewegung erweckt werden kann, als eine sensible mit einer motorischen Wurzel noch durch ein Stückchen unverletzten Rückenmarks in Verbindung steht; die einzige Beschränkung, die dieser Satz zu erleiden hat, möchte darin bestehen, dass der Schnitt, durch welchen man das Rückenmark verstümmelt hat, nicht zu nahe am Austritt der Nervenwurzeln geführt sein dürfe, durch welche die Erregung in das Rückenmark ein- und austritt. Denn: bei vollkommener Längstheilung des Rückenmarks erhält sich die Reflexbewegung, aber natürlich nur auf einer Seite; lässt man eine selbst kurze Verbindungsbrücke zwischen beiden Hälften, so kann von einer Seite die ganze andere in Bewegung gesetzt werden; die Durchschneidung nur einer seitlichen hintern oder vordern Hälfte des Rückenmarks verhindert nicht das Erscheinen der Reflexbewegung in den gleichen Parthien jenseits des Schnittes; eben so wenig ist das Erscheinen der Reflexbewegung auf Erregung der Schwimmhaut des Frosches in der obern Extremität beeinträchtigt, wenn man oberhalb der Nervenwurzeln für die untern Extremitäten eine seitliche Hälfte des Rückenmarkes und kurz unterhalb der Wurzeln für die obern Extremitäten die entgegengesetzte Hälfte durchschnitten hat.

Der Versuch gelingt überhaupt um so leichter, je höher die Erregbarkeit des ganzen Nervensystems steht, namentlich bei jungen Säugethieren, deren Grosshirn man mit Vorsicht entfernt hat, so dass der Blutkreislauf noch besteht, dann bei Amphibien, besonders im Frühjahr und Herbst und endlich vorzugsweise nach Vergiftung (örtlicher oder allgemeiner) mit Strychnin und Opium; nach ihrer Einwirkung genügt ein Minimum des Erregungsmittels, um die lebhaftesten Bewegungen zu erzielen. —

Die Wahl der Erregungsmittel und des Orts ihrer Applikation an demselben Nerven und demselben Thier erscheint ebenfalls von Bedeutung. Zu den Erfordernissen des Gelingens ist in diesem Sinne zu rechnen die Anordnung eines dauernd wirkenden Erregungsmittels; sehr kurz vorübergehende Eingriffe auf die sensiblen Nerven erzielen oft da keinen Erfolg, wo Anwendung von Säuren, Alkalien oder länger dauernde Einwirkung der electrischen Inductionsströme ihn noch sichern. Dasselbe Erregungsmittel, auf die Nerven in ihrer Verbreitung auf Hautflächen angewendet, ist wirksamer als auf den entsprechenden Nervenstamm, wenigstens bei Anwendung von Drücken; bei Benutzung des Inductionsapparates erscheint dagegen der Unterschied

zweifelhaft. Hierher gehört schliesslich auch die Thatsache, dass eine sehr verbreitete (z. B. ein kaltes Bad) oder eine sehr intensive (z. B. das Glüheisen) Einwirkung in allen Fällen Reflexe erzielt.

Sehr bemerkenswerth ist der Einfluss, welchen die Schwächung oder Vernichtung einer gewissen Hirnwirkung auf das Rückenmark bei dem Entstehen der Reflexbewegungen übt. Man kann den Werth desselben beim Versuch an Thieren und durch Beobachtung des gesunden oder kranken Menschen ermessen; sehr häufig treten bei unverletzten Fröschen auf Einwirkung entsprechender Erregung keine den reflektorischen auch nur entfernt ähnliche Bewegungen ein, während sie unfehlbar erscheinen, so wie man die Thiere dekapitirt; noch auffallender gestaltet sich dieses bei Säugethieren; so lange man sie nicht enthirnt oder ihr Rückenmark vom Hirn nicht getrennt hat, gehören die Reflexbewegungen in den Extremitäten zu den Seltenheiten; sie kommen dagegen nach den erwähnten Operationen ganz regelmässig zum Vorschein, gerade so wie bei vollkommen selbstbewussten Menschen nur Reflexbewegungen in Theilen beobachtet werden, welche entweder normal oder abnorm ganz oder theilweise dem Willenseinfluss entzogen sind. — Eine Reihe von Thatsachen zeigt nun, dass es nicht das Hirn im Allgemeinen, sondern nur eine beschränkte Region ist, welche diesen störenden Einfluss auf die Reflexbewegungen übt; schlafende, trunkene, ohnmächtige Personen, bei denen noch eine beträchtliche Zahl von Hirnthätigkeiten bestehen, sind nichts destoweniger im günstigsten Zustande des Reflexes, und eine Beobachtung an uns selbst lehrt, dass gewisse Reflexe nur nach langer Uebung der Willensstärke niedergehalten werden können, und dass viele von ihnen, die wir in aufmerksamen und geisteskräftigen Augenblicken niederzuhalten im Stande sind, in Zuständen geistiger Schwäche erscheinen.

Berücksichtigt man die Form, welche die Bewegung nach voraufgehender Reizung sensibler Theile annimmt, so kann man unterscheiden den Reflexkrampf und die geordnete Reflexbewegung.

Der Reflexkrampf ist dadurch gekennzeichnet, dass die Muskeln, auf welche er sich während eines grössern oder kleinern Zeitraums seines Bestehens erstreckt, nicht in einer bestimmten Reihenfolge, sondern gleichzeitig ergriffen werden; es wechselt darum nicht etwa in einer geordneten Zeitfolge Beugung, Streckung, Supination u. s. w. eines Gliedes mit einander ab, sondern es verharrt der Körpertheil, zu welchem die ergriffenen Muskeln gehören, während der ganzen Dauer des Reflexkrampfes in einer bestimmten Stellung. — Ausserdem ist es dem Reflexkrampf meist eigen, sehr lange Zeit in gleicher Intensität anzuhalten.

Diese Form der Reflexbewegung wird beobachtet nach Strychninvergiftung, deren Erscheinungen wir in Nummer 5 dieses Abschnitts näher betrachten werden, und beim nicht vergifteten Rückenmark, wenn ein Empfindungsnerv sehr anhaltenden Erregungen ausgesetzt ist, indem er durch einen fremden Körper, einen Knochensplitter u. s. w. gedrückt oder durch Einheilen in eine Narbe gezerrt wird. Ed. Pflüger hat sich das Verdient erworben, sehr

viele von den am Menschen beobachteten Fällen zusammengestellt und nach ihrer Erscheinungsweise geordnet zu haben. Er stellt rücksichtlich des Gangs der Uebertragung vom sensiblen zum motorischen Nerven folgende Sätze auf: 1. Wenn dem Reize, welcher einen peripherischen Empfindungsnerven trifft, Muskelbewegungen auf nur einer Seite als Reflexe folgen, so befinden sich dieselben ohne Ausnahme und unter allen Umständen auf derjenigen Körperhälfte, welcher auch der gereizte Empfindungsnerv angehört. — 2. Wenn eine gereizte Empfindungsfaser einseitige Reflexe bereits ausgelöst hat und hierauf auch Bewegungsnerven der entgegengesetzten Körperhälfte erregt werden, so contrahiren sich immer nur diejenigen Muskeln, die auch bereits auf der primär affizirten Seite erregt sind, so dass also doppelseitige Reflexe nur so erzeugt werden, dass die Verbindungslinie senkrecht auf der Längenachse des Körpers steht. — 3. Wenn ein gereizter Empfindungsnerv Reflexe in beiden Körperhälften auslöst und zwar in der Weise, dass die Muskelcontractionen auf einer Seite heftiger als auf der andern auftreten, so befinden sich die stärker am Krampf betheiligten Muskeln auf derjenigen Körperhälfte, welcher auch die gereizte Empfindungsfaser angehört. — 4. Wenn ein Empfindungsnerv Reflexe bereits in solchen Bewegungsnerven ausgelöst hat, deren Wurzeln mit ihm in mehr oder weniger gleichem Niveau am Centralorgane liegen, so werden beim Weitergreifen der Reflexe auf benachbarte Bewegungsnerven immer diejenigen hereingezogen, welche in der Richtung zum verlängerten Marke liegen. — 5. Die Reflexe sind entweder allgemeine oder locale. Die localen treten entweder in gleichem Niveau mit dem gereizten Empfindungsnerven oder in den aus dem verlängerten Mark entspringenden Bewegungsnerven auf.

Die geordnete Reflexbewegung erzeugt dagegen niemals eine Muskelzusammenziehung, welche die Erregungsdauer des sensiblen Nerven ununterbrochen begleitet. Im Gegentheil, mit dem Eintritt der Erregung oder kurze Zeit nach derselben beginnt ein wechselndes Spiel eintretender und nachlassender Muskelzusammenziehung, wenn sich die Bewegung nur auf einen oder mehrere ungefähr gleichartig wirkende Muskeln erstreckt; dehnt sie sich auf alle Muskeln einer zu gewissen Funktionen zusammengeordneten Gruppe aus, wie z. B. auf Athem-, Schling-, Greif-, Gehmuskeln etc., so wechseln die Zusammenziehungen der einzelnen Bestandtheile derselben in regelmässiger Reihenfolge ab und gestalten sich räumlich und zeitlich derartig, dass harmonische, nach einem gewissen

Plane zusammengefügte, zweckmässige Bewegungen zu Stande kommen.

Die Zahl und Combination der in Bewegung gesetzten Muskeln wird einerseits durch die Oertlichkeit, Dauer und Intensität der Erregung des sensiblen Nerven, und anderseits durch die Zahl der zur Bewegung brauchbaren Muskeln bestimmt. — Ein rasch vorübergehender und zugleich schwach erregender Hautreiz löst nur in wenigen Muskeln Bewegung aus; diese letztere ändert sich mit den erregten Empfindungsnerven, und besteht zunächst darin, dass durch sie der Versuch gemacht wird, das affizirte Hautstück dem erregenden Einfluss zu entziehen, also in einem Ausbeugen des Rumpfes bei Berührung der Rumpfhaut, in einem Anziehen der an der Schwimmhaut gekniffenen Hinterglieder u. s. w. Wirkt ein schwacher Reiz anhaltend oder ein starker kurze Zeit, so treten zu den ebengenannten Bewegungen noch andere, welche den Effect haben, das Erregungsmittel selbst zu entfernen; also ein Wischen der Bauchhaut mit der Hinter- oder Vorderpfote, ein Anstemmen der andern Hinterpfote gegen das kneifende Instrument u. s. f. Wird die Erregung noch stärker, so kommen endlich sämmtliche Muskeln des Froschstumpfes in Bewegung. Den Beweis, dass dieses Ueberschreiten der Erregung von einem beschränkten Ort auf so viele Muskeln vermittelst des Rückenmarkes, und nicht etwa durch Erregung neuer Hautstücke vermittelst der eingeleiteten Bewegungen geschehe, liefert die Thatsache, dass von einem Gliede, dessen zugehörige sensible Fasern noch erhalten, dessen motorische dagegen durchschnitten sind, Reflexbewegung in allen andern noch mit dem Rückenmark in Verbindung stehenden Skeletmuskeln hervorgerufen werden kann.

Die Entfernung des Erregungsmittels kann natürlich durch sehr viele verschiedene Bewegungen bewirkt werden. Für gewöhnlich führen alle Thiere einer Gattung, so lange sie unverletzt sind, bei Erregung derselben Hautstelle die Bewegung auf dieselbe Weise aus. Pflüger setzt hinzu: lähme oder trenne man die Muskeln, welche in erster Instanz zur Entfernung des Erregungsmittels verwendet werden, so würden nun andere Muskeln, deren Bewegung zu demselben Ziel führt, in Zusammenziehung versetzt. Dieses geschehe jedoch weder bei allen Thieren in gleicher noch in gleich vollkommener Weise. Dieser Punkt verdient genauere Untersuchung mit gründlicher Analyse der eintretenden Bewegung.

Die zeitlichen Beziehungen zwischen der Erregung des moto-

rischen zu der des sensiblen Nerven gestalten sich mannigfach. Unter allen Umständen, selbst bei Strychninvergiftung, tritt die reflektorische Zuckung um $^1/_{30}$ bis $^1/_{10}$ Secunde später ein, als die direkt erregte, zwischen der sensiblen Erregung und der Zuckung liegt also jedesmal ein grösserer Zeitraum, als ihn eine einfache Fortleitung der Erregung erforderte (Helmholtz*)); sehr häufig aber ist die Zeit, welche zwischen sensibler Erregung und Zuckung vergeht, ein noch sehr viel längerer, der nach Secunden, ja nach Tagen und Wochen zu zählen ist. Aehnlich verhält es sich mit dem Schluss der Zuckung, indem sie bald fast gleichzeitig mit der sensiblen Erregung endet und bald dieselbe beträchtlich überdauert.

Es darf wahrscheinlich als Regel aufgestellt werden, dass die vom Rückenmark ausgehenden reflektorischen Effekte um so intensiver und von der Grösse des Eingriffs auf den sensiblen Nerven um so unabhängiger ausfallen, je höher die Erregbarkeit des Rückenmarks steht, und dass die Bewegung um so rascher eintritt, je intensiver die Erregung ist.

Die Bedeutung, welche die Reflexbewegung für den Organismus gewinnt, zeigt sich darin, dass durch dieselbe unabhängig vom Willen und dem Bewusstsein eine grosse Zahl sehr wohlberechneter Bewegungen ausgeführt werden, deren regelmässige Wiederkehr für die normale Funktion vieler wichtiger Organe unumgänglich nothwendig ist; und dann darin, dass die stetigen Erregungen sensibler Nerven, welche nicht alle gleichzeitig von der Seele aufgenommen werden können, schon im Rückenmark innerhalb der motorischen Parthieen stetige Spannungen und Erregungen herbeiführen. —

Unter die Bewegungen, welche in Folge der Reflexe am Rumpf sehr regelmässig ausgeführt werden, zählt man: Athembewegung, Husten, Koth- und Harnentleerung; bei der eigenthümlichen Stellung der Seele zum Organismus, vermöge deren sie in langen Zeiträumen überhaupt nicht auf Bewegungsorgane wirkt (wie im Schlaf) oder nach welcher sie, wenn sie in wirksamer Beziehung zum Organismus steht, nur ein Bewegungsorgan gleichzeitig anzuregen im Stande ist, würden ohne Hülfe der Reflexe die Athembewegungen u. s. w. die beträchtlichsten Störungen erleiden, oder die Seele zum blossen Diener vegetativer Prozesse herabsinken. Noch mehr: es würde wahrscheinlich das Leben des Neugeborenen (vorausgesetzt dass die thierische Organisation sich in den uns bekannten Schranken bewegte) in der grössten Gefahr schweben, wenn er die complizirten Muskelfunktionen, die wir erwähnten, erst mühsam erlernen müsste.

Wie wichtig fernerhin die stetigen in das Rückenmark eindringenden Erregungen für das sichere Erscheinen selbst willkürlicher Muskelfunktionen sind, geht daraus hervor, dass das Gehen z. B. ausserordentlich beeinträchtigt wird, wenn die empfindenden

*) Berliner akadem. Berichte. Juni 1854.

Flächen der untern Extremiät in ausgebreiteter Weise leiden. Obgleich dann alle Gehbewegungen noch willkürlich ausgeführt werden können, so erhält doch der Gang etwas unsicheres und schwankendes. Man hat somit nicht ohne Grund die Vermuthung ausgesprochen, dass zur Erhaltung des Gleichgewichts unseres Rumpfes die grossen Mengen sensibler Fasern, die sich in der Fusssohle verbreiten, von Einfluss seien.

B) Mittheilung der Erregung von motorischen Röhren auf motorische. Mitbewegung*). Nach einer verbreiteten Annahme sollen auch die in einem motorischen Nervenrohr des Rückenmarks erweckten Erregungen auf die nebenliegenden motorischen übertreten können, mit andern Worten, es soll auch Querleitung bestehen zwischen der Fortsetzung der vorderen Wurzelröhren innerhalb des Rückenmarks. Eine sorgfältige Zergliederung der Thatsachen führt aber keineswegs nothwendig zu der Ueberzeugung, dass diese Art der Erregungsmittheilung besteht. — Man zählt zu den die Mitbewegung beweisenden: 1. Neben einer vom Willen beabsichtigten Bewegung tritt eine andere nicht beabsichtigte in willkürlich beweglichen Muskeln auf, z. B. einer beabsichtigten Bewegung eines Fingers folgt gleichzeitig die mehrer anderer u. s. w. Man hat längst versucht, diese Art von Mitbewegung aus einer Ungeschicklichkeit der Seele zu erklären, in Folge deren sie vollkommen oder nahebei gleichzeitig neben den wirklich beabsichtigten auch noch andere nicht beabsichtigte Bewegungen einleitet. Der Werth dieser letztern Erklärung ist um so einleuchtender, als es in der That durch Uebung gelingt, Bewegungen, die der Wille früher immer gemeinsam ausführte, von einander zu sondern. 2. An das Eintreten einer unwillkürlichen Bewegung knüpft sich häufig eine andere unwillkürliche, ohne dass es gelänge nachzuweisen, es habe auf beide bewegte Theile gleichzeitig eine gesonderte Erregungsursache gewirkt. Diese Erscheinung beobachtet man namentlich öfter bei Hemiplegischen, d. h. bei solchen Individuen, deren eine Körperhälfte durch Blutergüsse in das Hirn dem Willenseinfluss entzogen ist; bei diesen Kranken begleitet öfter das Gähnen, Niessen, Husten die Bewegung eines Beins oder Arms an der dem Willen nicht mehr untergebenen Seite. Begreiflich würden diese Thatsachen nur dann für Mitbewegung sprechen, wenn man darzuthun vermöchte, dass die das Gähnen u. s. w. veranlassende Ursache nur auf den motorischen Nerven des Kiefers u. s. w. wirkte; denn verbreitet sich die Erregung auch in sensible Nerven, so ist es

*) Müller l. c. I. p. 587 u. II. 85. — Henle ration. Pathol. I. 205 u. f.

erlaubt den vorliegenden Fall auch unter die Reflexe zu subsummiren, umsomehr als Glieder, die dem Seeleneinflusse nicht mehr gehorchen, zu Reflexen geneigt sind. 3. Anscheinend viel beweisender sind die Fälle, wo auf eine vom Willen eingeleitete Bewegung auch andere normal oder abnorm unwillkürlich bewegliche Muskeln in Thätigkeit kommen. So erscheinen z. B. bei Hemiplegischen in Folge von willkürlichen Bewegungen der nicht gelähmten Glieder gleichzeitig Bewegungen in der gelähmten, dem Willen vollkommen entzogenen Körperhälfte. Einige den erwähnten sehr analoge Beobachtungen aus dem normalen Leben werden wir bei der Betrachtung der Hirnfunktionen noch vorführen. — An diese Beobachtungen schliessen sich dann noch mehrere (weniger zuverlässige?) Ergebnisse der Versuche beim Säugethier an; in diesen werden, nachdem die Durchschneidung einer seitl. Rückenmarkshälfte in ihren obern an das verlängerte Mark grenzenden Theilen eine Lähmung der entsprechenden Körperhälfte herbeigeführt hatte, die Glieder der gelähmten Seite bei energischen Bewegungen der entsprechenden Abtheilungen der anderen nicht gelähmten Hälfte mitbewegt. Diese letzteren Thatsachen würden unzweifelhaft das Gesetz der Mitbewegung im oben ausgesprochenen Sinne beweisen, wenn unsere Vorstellungen vom Gang der durch die Willenseinflüsse herbeigeführten Erregungen zweifellos festständen, und wenn wir mit den älteren Anatomen den nur einseitigen Verlauf der Bewegungsfasern durch das Rückenmark des Säugethiers festhalten dürften. Wer gibt uns die Gewissheit, dass der Wille ohne alle Zwischenorgane die Enden der motorischen Primitivröhren anregt? Und wenn in der That solche Zwischenorgane vorhanden, wie ändern sie sich bei sog. einseitigen Lähmungen? Man würde aber diese scheinbar zur Seite liegenden Fragen nicht aufwerfen, wenn nicht 4. durch eine überwiegende Zahl von Beobachtungen gerade Erscheinungen zu Tage gefördert worden wären, die sich mit der Theorie der Mitbewegungen in Folge sog. Querleitung in keiner Weise vereinigen lassen. Zu diesen zählen wir, dass an einem decapitirten Thier nach vorsichtiger Erregung einzelner vorderen Wurzeln keine Bewegung in andern als den Muskeln der gereizten Nerven eintritt. Der Erfolg dieses Versuchs, in Verbindung mit der Thatsache, dass an solchen Stümpfen noch mit Leichtigkeit eine nach allen Seiten hin sich verbreitende Reflexbewegung von den hintern Wurzeln hervorgerufen werden kann, macht es einleuchtend, dass wenn (was noch zu bestreiten ist) in der That eine sog. Mitbe-

wegung stattfindet, diese auf ganz andern Bedingungen beruhen muss, als die Reflexbewegung, mit andern Worten, dass sie einen von diesen verschiedenen Prozess vorstellt. —

C) Uebertragung der Erregung von sensiblen auf sensible Nerven. Mitempfindung. — Man hat fernerhin auch der Vorstellung gehuldigt, dass eine in die hintern Stränge eintretende partielle Erregung sich auf andere ursprünglich nicht erregte sensible Theile auszubreiten vermöge, und dadurch die Erscheinung der Mitempfindung veranlasse. Es kann nicht geleugnet werden, dass ziemlich constant mit Erregung gewisser Hautstellen auch Empfindungen in nicht erregten sensiblen Regionen auftreten; ob diese aber durch einfache Uebertragung der Erregung zwischen den constituirenden Bestandtheilen der hintern Stränge entsteht oder auf einem complizirteren Wege, ist aus den Beobachtungen nicht ersichtlich, ja meistens nicht einmal wahrscheinlich.

Offenbar muss von den Beweismitteln für Mitempfindung die ganze Reihe von Erscheinungen ausgeschieden werden, bei welchen die sog. Mitempfindung in sensiblen Flächen auftritt, die gleichzeitig mit einem Muskelapparat, dessen Bewegung selbst Empfindungen anregt, versehen sind; denn wenn nach einer sanften Berührung der Nackenhaut eine eigenthümliche Empfindung über die Haut des Rückens, der Schulter und der unteren Extremitäten eingeleitet wird, so kann diess sich als eine Folge von einer reflectorischen Bewegung der Muskeln in den Drüsen und Haarbälgen (die sog. Gänsehaut) darstellen; ebenso die Empfindung des Hustenreizes, resp. der Husten selbst, welcher bei Berührung der Verzweigungen des ram. auric. vagi eintritt u. s. w. — Scheidet man diese Beobachtungen aus, so bleiben nur einzelne Thatsachen übrig, die zudem nicht einmal von allen gesunden Menschen empfunden werden; hierher gehören z. B. Schmerzen in der Schulter bei Gegenwart schmerzhafter Blähungen im Darmkanal, Erscheinungen, die so complizirter Natur zu sein scheinen, dass es mindestens sehr gewagt ist, aus ihnen den bezeichneten Schluss zu ziehen. — Die Beobachtungen, welche man am Krankenbette als sog. Beweise für die Mitempfindung gefunden zu haben glaubt, sind noch problematischer. Dahin gehören vorzugsweise die Ausbreitungen schmerzhafter Empfindungen nach schweren Verletzungen und Neuralgien; Zustände, bei denen man trotz naheliegender Aufforderungen nicht einmal den Versuch gemacht, nach andern Ursachen der Schmerzensausbreitung zu suchen. Hält man solchen vieldeutigen Thatsachen die Erfahrung gegenüber, dass jeder gesunde Mensch in tausend unbeobachteten zum Entstehen der Reflexbewegungen geschickten Augenblicken eine eindringende Erregung nur ganz örtlich fühlt, dass also in den der Querleitung günstigen Zuständen des Rückenmarks die Mitempfindungen dennoch nicht auftreten, so möchte man sehr geneigt sein, diese Lehre in der bezeichneten Form ganz abzuweisen.

D) Uebertragung der Erregung von motorischen auf sensible Röhren. Reflexempfindung*). Mit dem Namen der Reflexem-

*) Stromeyer, de combinatione actionis nervorum et motoriorum et sensoriorum. Erl. 1839. — Valentin, Lehrbuch der Physiologie. II. b. 492. — Volkmann, Nervenphysiologie, Wagner's Handwörterb. II. Bd. 530. — Henle, rationelle Pathologie l. c.

pfindung führte man endlich noch eine vierte Art Querleitung in die Wissenschaft ein; nach dieser Hypothese sollen auch die motorischen Rückenmarksröhren ihre Erregungszustände auf die sensiblen Fasern übertragen; mit andern Worten bei der Reflexempfindung soll die Mittheilung der Erregung zwischen den Wurzelelementen des Rückenmarks auf demselben Wege aber in umgekehrter Richtung möglich sein, auf dem sie bei der Reflexbewegung geschieht. Der Beweis ihres Bestehens ist abgesehen von allen andern Folgen schon des Mechanismus der Reflexbewegung wegen von ausserordentlicher Wichtigkeit. Er ist in der That aber so wenig geführt, dass selbst die Anhänger der Hypothese von Mitempfindung und Mitbewegung sich gegen die Annahme einer Reflexempfindung aussprechen.

Die Thatsachen, aus welchen man die Reflexempfindung schloss, sind: a) Nach Durchschneidung der Sehne eines Jahre lang verkürzten Muskels entsteht das eigenthümliche Gefühl eingeschlafener Glieder, obwohl durch die Operation kein Nerv verletzt wurde. Man interpretirt dieses Gefühl des Eingeschlafenseins dahin, dass der Nerv des dauernd contrahirten Muskels seine Erregung im Rückenmark auf die sensiblen Nerven übertragen habe, im Moment der Durchschneidung der Sehne werde nun zugleich der motorische Nerv aus dem Zustand der Erregung in den der Abspannung versetzt und damit auch die Reflexerregung des sensiblen Nerven aufgehoben. Diese Erscheinung, welche nicht constant beobachtet wurde, erläutert sich mindestens eben so einfach dadurch, dass die Nerven eines Gliedes, das nach Durchschneidung der verkürzten Sehne in eine andere Lage gebracht wird, einer Zerrung unterworfen oder aus einer bisher vorhandenen gezerrten Stellung wieder befreit werden. Gesetzt aber, es sei auch diese Erklärung für die Erscheinung unbrauchbar, so müsste, ehe die obige gelten sollte, erst noch gezeigt werden, dass ein Muskel, resp. ein Nerv sich Jahre lang im Zustand der Erregung befinden kann, ohne zu ermüden; ferner dass die Durchschneidung seiner Sehne den Muskel unfähig zur Kontraktion macht, obgleich ausserhalb des Organismus ein Muskel noch in Bewegung versetzt werden kann und Muskeln der Amputationsstümpfe sich weit zurückziehen; und endlich, dass wenn ein Muskel unfähig zur Kontraktion sei, in seinem zugehörigen Nerven kein Erregungszustand mehr bestehen könne u. s. f. — b) Bei Verkrümmungen der Glieder in Folge von Muskelverkürzungen findet sich häufig ein heftiger Schmerz an einem Theile des verkrümmten Gliedes, ohne dass der diesen Theil versorgende sensible Nerv gedrückt ist (?). Nach Durchschneidung der Sehne des verkürzten Muskels hebt sich der Schmerz. Nach der eben gegebenen Auseinandersetzung bedarf diese Thatsache keiner weiteren Beleuchtung. — c) Man bringt ferner das Gefühl der Anstrengung, welches während oder nach einer kräftigen Muskelwirkung beobachtet wird, in Verbindung mit unserer Hypothese; da es nun aber feststeht, dass in die Muskeln sensible Nervenfasern eingehen, so ist es mindestens wahrscheinlicher, dass das Gefühl von ihnen abhängig sei, um so mehr, als sich beim Beginn der Muskel Kontraktion die Empfindung nur über den verkürzten Muskel erstreckt und erst später, vielleicht in Folge einer Veränderung des Blutlaufes oder der Spannungen und Drücke auf den anliegenden Nerven oder dergl. andere Gefühle hinzutreten.

Gegen diese wenigen und noch dazu so wenig beweisenden Thatsachen erhebt

sich nun aber die allbekannte Erfahrung, dass wir tausendmal Bewegungen bei unvollkommener Selbstbeherrschung ausführen, ohne die geringste sie begleitende Empfindung. Wer möchte es da noch über sich nehmen, die Hypothese von den Reflexempfindungen zu vertheidigen?

Gesetzt aber, es bestehe auch der Vorgang der Reflexempfindung, so würde ihr Auftreten doch jedenfalls zu den Seltenheiten gehören.

E) Zur Theorie der Querleitung. Da nun die Reflexbewegung nach Belieben erzeugt und studirt werden kann, so gilt das folgende auch nur vorzugsweise von ihr.

Die scheinbar einfachste Hypothese, um die übertragene Bewegung zu erläutern, würde voraussetzen, dass die nervöse Bewegung, welche durch die hintern Wurzeln eintrete, unmittelbar zur Erregung der motorischen Röhren benutzt werde; oder noch einfacher, die in den sensiblen Nerven angefachte Erregung ginge unmittelbar über in die motorischen. Die Annahme wird auf den ersten Blick unterstützt durch die anatomischen Erfahrungen von Bidder, Schröder v. d. K., Lenhossek u. A., wonach die hintern Wurzelröhren unmittelbar mit den vordern und zwar durch Ganglienstrahlen zusammenhängen, wodurch man scheinbar berechtigt wäre, den Verbindungssträngen zwischen beiden Nervenarten die physiologischen Eigenschaften des gewöhnlichen Nerveninhalts zuzutheilen. Eine genauere Zergliederung der Thatsachen beseitigt jedoch augenblicklich die ganze Unterstellung. Gesetzt nämlich sie wäre richtig: so müsste 1. eben so leicht Reflexbewegung als Reflexempfindung zu erzeugen sein, da die Leitung der Erregung innerhalb der Nerven eben so leicht nach der einen, als nach der andern Seite vor sich geht; nun trifft aber diese Folgerung bekanntlich so wenig ein, dass man überhaupt an dem Bestehen der Erregungsübertragung in der Richtung von vorn nach hinten mit Recht zweifeln darf. — Gesetzt aber, man wollte irgend eine ventilartige Einrichtung voraussetzen, welche die Bewegung nur in einer Richtung zum Nutzeffekt kommen liesse, so würde wenigstens die Erregung sich gleichmässig in alle motorischen Nerven vertheilen müssen, welche mit den erregten sensiblen Röhren in unmittelbarer Verbindung stehen, so dass z. B. nach Erregung der Fusshaut gleichzeitig Beuger und Strecker des Unterschenkels in Zusammenziehung kommen mussten; aber auch dieses ist bekanntlich nicht der Fall, sondern es geht die Erregung ganz besondere aus dem anatomischen Zusammenhang nicht erläuterbare Wege. — 2. Eine andere Folgerung aus der Leitungshypothese würde verlangen, dass

die Zeit, welche verstreicht, zwischen der im sensiblen Rohr eingetretenen Erregung und der reflektorischen Bewegung des Muskels, annähernd der entspreche, welche vermöge der bekannten Leitungsgeschwindigkeit der Erregung verbraucht werde, um diese letztere von dem einem zum andern Ort zu übertragen. Aber auch dieses trifft nicht zu; denn wenn die Erregung der sensiblen Nerven schwach war, so müsste sie sehr lange wirken, bevor sie eine Reflexbewegung auslöst. So gehören nach ärztlichen Beobachtungen oft Monate dazu, bevor der durch eine Narbe, eine Exostose u. s. w. gezerrte oder gedrückte Nerv einen Krampfanfall erzeugt, und ein Froschbein, das in sehr verdünnte Säure getaucht wird, kommt oft erst nach vielen Sekunden zu einer Zusammenziehung, ja wenn durch Strychnin die reflektorische Empfindlichkeit zu einem Maximum gebracht ist, verstreicht nach den genauen Messungen von Helmholtz eine viel längere Zeit, als sie zur einfachen Ueberleitung erfordert wurde. Zum Theil wenigstens scheint damit ausgesprochen zu sein, dass die Erregungen, welche noch nicht zum Anstoss eines Muskelnerven verbraucht sind, im Rückenmark irgendwo summirt werden, um erst dann, wenn die Summe der disponiblen Kräfte einen grössern oder geringeren Werth erreicht hat, in Muskelbewegung umgesetzt zu werden. Erinnert man sich 3. dass die räumliche und zeitliche Ausbreitung der sensiblen und der zugehörigen reflektorischen Erregung veränderlich ist mit der Anwesenheit von sehr geringen Menge Strychninspuren im Rückenmark, mit den Willenskräften, den zur Bewegung disponiblen Muskeln u. s. w., so wird man sich sogleich gezwungen sehen die einfache Ueberleitungshypothese fallen zu lassen.

Demnach wird nur noch die Supposition übrig bleiben, dass jede in das Rückenmark eintretende sensible Faser einen besondern Apparat zu erregen vermag, der selbst wieder je nach seiner durch die chemische und physikalische Anordnung bestimmten Eigenthümlichkeit eine Anzahl motorischer Fasern reizen und combiniren kann. Wie nun die Annahme eines nach Zeit und Raum die Bewegung beherrschenden Organs geboten wurde durch die Unmöglichkeit die Erscheinungen aus den bekannten Leitungsgesetzen zu erläutern, so sind wir auch weiter gezwungen diesem Organ, obwohl wir es weder räumlich noch eigenschaftlich umgrenzen können, unter andern Umständen auch andere Zustände zu ertheilen, denn es wirkt, wie Pflüger zuerst mit Geschick hervorgehoben, das Rückenmark als reflektorisches Organ sehr ver-

schiedenartig je nach den Bedingungen unter denen es sich findet. Um diese Verschiedenheit anzudeuten, stellt er die Behauptung hin, dass bei der geordneten Reflexbewegung eine aus Gründen der Zweckmässigkeit wirkende Seele zur Erregung der räumlich und zeitlich zusammengefassten Bewegungen thätig sei. Wenn man dabei den Begriff, Seele gewohnter Maassen, als den Vorgang definiren wollte, durch den Empfindung, Bewusstsein und Gedächtniss erzeugt werden, so liesse sich aus den bekannten Erscheinungen, die in dem vom Hirn getrennten menschlichen Rückenmark beobachtet werden, sogleich zeigen, dass dem letzteren keine solche Seele zukomme. Da nun aber die Zweckmässigkeit der eintretenden Bewegung keinen Grund abgiebt, ein der bewussten Seele analoges Wesen anzunehmen und da andererseits das ganze Reflexproblem prinzipiell wenigstens genügend erläutert werden kann, als aus Molekularbewegungen oder aus Umsetzung von Bewegung und Spannung u. s. f., mit andern Worten aus mechanischen Gründen, so wird es rathsam sein, den vieldeutigen Begriff Seele ganz ausser Spiel zu lassen, und statt dessen, so weit als möglich, die Erscheinungen der Reflexbewegung unter möglichst verschiedenen Bedingungen gründlich zu beobachten.

4. Besondere Gruppirung der Nervenröhren im Rückenmark*). Die motorischen Fasern des Rückenmarks sollen sowohl unter sich, als mit den sensiblen Röhren zu mannigfaltigen Gruppen geordnet sein, der Art, dass bei Erregung einer oder mehrerer in eine solche Gruppe eintretender Röhren, alle anderen zugehörigen Röhren in Erregung gerathen. Man erschliesst diese Konstruktion der motorischen Abtheilungen des Rückenmarks aus den Bewegungen, welche nach Reflexerregung und direkter Erregung der vorderen Stränge auftreten, indem hier nach beschränkten primären Erregungen verbreitete und geordnete Bewegungen hervortreten, und findet eine Unterstützung für diese Annahme in dem Bau des Rückenmarks, wie z. B. darin, dass mehrere vordere Wurzelröhren zu einem Ganglienkörper gehen; setzt sich diese Vereinfachung fort, so kann schliesslich ein ganzer Muskel, ja eine Muskelgruppe von einer Ganglienzelle aus erregt werden. Diese oder eine ähnliche Deutung wird unterstützt durch das Zusammenliegen der Ganglienkörper in Gruppen an den Orten, aus welchen viele Muskelröhren Nerven

*) Kürschner in der Uebersetzung von Marshall Hall's Abhandlung über Reflexbewegung. Marburg 1840. — Volkmann, Artikel Nervenphysiologie. — Todd and Bowmann, physiology and physiological anatomy I. 320 u. f. — Schröder v. d. Kolk l. c.

ziehen (Gruppenkörper Lenhossek's); durch die Verbindungsstrahlen der rechten und linken Seite, die Verbindungsfäden der Ganglien in den Hinterhörnern (Schröder v. d. K.), die Thatsache, dass mit der Complikation der Muskelanordnung in den verschiedenen Thierfamilien auch die Zahl der Strahlen aus den Ganglienkörpern zunimmt u. s. f. — Ueber die besondere Verbindung der einzelnen Glieder zu Gruppen ist nichts bekannt.

5. Eigenthümliche Erregbarkeit des Rückenmarks. Im Allgemeinen stimmen die Erregbarkeitserscheinungen, welche die Elementartheile des Rückenmarkes darbieten, sehr überein mit denjenigen, welche wir als den Nervenröhren eigenthümlich beschrieben haben; in einigen Punkten weichen sie jedoch so beträchtlich von einander ab, dass man auf eine besondere Anordnung der kleinsten Theilchen in den anatomischen Elementen des Rückenmarks schliessen darf.

A) Gewisse Umstände vermögen die nervösen Elementartheile und namentlich die Nervenröhren des Rückenmarks noch in Erregung zu versetzen, welche sich gegen die in den Nerven (ausserhalb des Rückenmarks) enthaltenen Elementartheile unwirksam erweissen.

a) Strychninkrämpfe*). Durchtränkt man das lebende mit seinen peripherischen Theilen (Nerven und Muskeln) in Verbindung stehende Rückenmark mit einer Lösung von Strychnin oder Strychninsalzen, so gerathen mit dem Beginne der Einverleibung sämmtliche Rumpf- und Gliedermuskeln in gleichzeitige und gleichstarke Zusammenziehungen. Tonischer Krampf. Für die Stellung, die ein Glied unter diesen Voraussetzungen einnimmt, folgt begreiflich, dass sie jedesmal diejenige ist, welche ihm die an Kraft überwiegenden Muskeln zu geben vermögen, so dass z. B. wenn die Strecker eines Gliedes kräftiger sind als die Beuger, dieses in dem Krampfanfall gestreckt wird, eine Streckung, die sich aber sogleich in eine Beugung umwandelt, wenn man die Sehnen des Extensoren durchschneidet. Diese Krämpfe lassen nun aber während der fortschreitenden Vergiftung nach, um sich zuweilen erst nach Stunden von neuem einzustellen. Alles andere gleichgesetzt ist aber die Dauer der Anfälle im Wachsen begriffen mit der Stärke der Vergiftung, während umgekehrt die Dauer der zwischen den Anfällen

*) Stannius, Müller's Archiv 1837 u. 1852. — Stilling, Untersuchungen über die Funktion des Rückenmarks. — Valentin, Lehrbuch der Physiologie. 2. Aufl. 2. Bd. 6. — H. Meyer, Ueber die Natur des durch Strychnin erzeugten Tetanus. — Henle u. Pfeufer Bd. V. 257.

liegenden Zeit mit ihr abnimmt; mit andern Worten, bei steigender Vergiftung kehren heftigere und anhaltendere Anfälle in kurz aufeinander folgenden Zeiten wieder, bis in einem derselben der Tod erfolgt.

Der Beweis dafür, dass das Gift nur mittelst des Rückenmarkes den tonischen Krampf hervorruft, liegt einfach darin, dass man wohl durch örtliche Anwendung auf das Rückenmark eines Thieres (dessen Blutlauf durch das Ausschneiden des Herzens unterbrochen ist) die Krämpfe erwecken kann, niemals aber durch Eintauchen des Nerven in die Giftlösung, und ferner, dass niemals die Glieder eines sonst unversehrten vergifteten Thieres in den Krampf gerathen, deren motorische Nerven vom Rückenmark getrennt sind.

Es erhebt sich nun aber die Frage, auf welchen Theil das Gift vorzugsweise seine Wirkung übt, ob auf motorische, ob auf sensible Nerven, oder auf den beide zur Reflexbewegung verknüpfenden hypothetischen Apparat, z. B. die Ganglienkörper. Hier kann nach Stannius und Meyer mit Sicherheit behauptet werden, dass das Gift nicht unmittelbar als Erreger der motorischen Nerven wirke, sondern die Krämpfe durch Steigerung des reflektorischen Vermögens erzeuge, denn 1. alles Andere gleichgesetzt, treten die Krämpfe um so seltener hervor, d. h. das Thier stirbt, ohne in auffallende Krämpfe zu gerathen, ab, je weniger es während der Vergiftung Einflüssen ausgesetzt war, welche Reflexbewegung erzeugen. Demnach werden die Krämpfe vermindert nach Durchschneidung aller sensiblen Nervenwurzeln und umgekehrt vermehrt, resp. jedesmal hervorgerufen, wenn man die Haut des vergifteten, aber sonst unversehrten Thieres kneipt oder anderweitig erregt. 2. Das reflektorische Vermögen des Thieres in der Vergiftung ist ausserordentlich gesteigert, indem schon nach den sanftesten Berührungen die heftigsten und allgemeinsten Zusammenziehungen eintreten. 3. Die Beziehung zwischen Strychninvergiftung und reflektorischem Vermögen macht sich auch dadurch geltend, dass bei ersterer die normalen Formen der Bewegung wesentlich geändert werden, indem auf Berührung einer bestimmten Hautstelle sich die Bewegung nicht auf die Muskeln beschränkt, welche in reflektorischer Beziehung zu ihr stehen, sondern sich auch weiter verbreitet und namentlich, dass statt des im normalen Zustand eintretenden Wechsels der Bewegung unter den ergriffenen Muskeln eine gleichzeitige Bewegung aller ergriffenen eintritt. 4. Endlich ist es bemerkenswerth, dass das erste Symptom des durch Strychnin herbeigeführten Todes darin

besteht, dass das Thier sein reflektorisches Vermögen schon eingebüsst hat, während seine motorischen Nerven noch erregbar sind, so dass also auf direkte Erregung der motorischen Nerven noch Zuckungen erfolgen, während sie von den sensiblen Nerven aus nicht mehr zu erwecken sind.

Die Versuche von Stannius verdienen mannigfaltige Abänderungen, sie versprechen, mit Umsicht angestellt, noch sehr bemerkenswerthe Aufschlüsse.

Zur Beobachtung der Erscheinungen von Strychninvergiftung eignet sich am besten der Frosch. Die Vergiftung kann entweder vorgenommen werden durch unmittelbare Anwendung der Lösung von essig- und salpetersaurem Strychnin auf das blosgelegte Rückenmark eines herzlosen Thieres, oder durch Einbringen der Lösung in den Blutlauf, indem man einige Tropfen der Lösung in den Magen oder in einen Schnitt unter die Haut bringt. — Die Erscheinungen treten um so intensiver hervor, je lebenskräftiger das vergiftete Thier war und je genauer man die Dosis getroffen, welche gerade hinreicht, um das Thier zu tödten.

Von Bedeutung für die Aufhellung der Rückenmarksfunktionen dürften auch die Vergiftungserscheinungen werden, welche Opium, Upas, Blausäure u. s. w. erzeugen.

b. Tonus*). Nach einer allgemeinen Annahme sollen alle mit dem Rückenmark noch in Verbindung stehenden Nerven in einem dauernden, wenn auch niedern Grad von Erregung erhalten werden. Wenn diese Annahme sich auf vollkommen sichere Thatsachen stützte, so würde daraus folgen, dass im Rückenmark entweder die gewöhnlichen Lebensbedingungen (Blutlauf, Anwesenheit sauerstoffhaltiger Flüssigkeiten u. s. w.) schon als Erregungsmittel wirkten, oder dass neue und besonders erregende Ursachen dort vorhanden seien. Die Thatsachen zwingen aber zu dieser Annahme keineswegs.

Die Vertheidiger des Tonus führen für diesen an: 1. Wenn im lebenden Thier die Sehne eines Muskels durchschnitten wird, dessen Nerv noch mit dem Rückenmark in Verbindung steht, so ziehen sich die Schnittenden der Sehne auseinander. Man darf diese Erscheinung aber mit vollkommenem Rechte für eine Folge elastischer Spannung ansehen, weil sie sich auch ereignet nach Zerstörung des Rückenmarks, bevor die Todtenstarre im Muskel eingetreten. Ed. Weber. Diese Erklärungsweise ist um so mehr festzuhalten, als Auerbach und durch genaue Hilfsmittel Heidenhain nachgewiesen haben, dass die lebenden Muskeln durch ihren Zusammenhang mit dem Rückenmark kein dauerndes Contraktionsbetreben erhalten. — 2. Ein geköpfter Frosch nimmt, so lange sein Rückenmark lebenskräftig ist, immer eine sitzende Stellung an, und behauptet dieselbe trotz aller Versuche, ihn daraus zu verdrängen; diese Beobachtung beweist aber nicht, dass der Frosch in dieser Stellung seinen Muskeln eine dauernde Zusammenziehung ertheilt. Dass dieses letztere in Wahrheit nicht geschieht. geht daraus hervor, dass, wenn alle Nerven des Schenkels in eine gleichmässige Spannung versetzt würden, eine gestreckte und nicht eine gebeugte Lage des Gliedes erzeugt würde; ferner ergibt sich der Mangel an dauernder Erregung auch daraus, dass der Rumpf auf dem angezogenen Schenkel nicht getragen wird, sondern platt auf der jeweiligen Unterlage liegt; diese Lage nimmt ferner der Frosch nur in horizontaler Stellung des Rumpfs und der Glieder an, denn wenn man den Frosch an seinem

*) Henle, Allgemeine Anatomie. Leipzig 1840. 727. — Virchow, Archiv für pathol. Anatomie VI. 139. — Auerbach, Schles. Gesellschaft. Februar 1856. — Heidenhain, Müller's Archiv 1856. 200. — Remak, Gazette medicale de Paris 1856. N. 1.

Vordertheil aufhängt, so zieht er wohl dann und wann einmal die Schenkel an, meist aber hängen sie, der Schwere entsprechend, herab, vorausgesetzt, dass man die Haut abgetrocknet hat, so dass die feuchten Flächen nicht verkleben können; ferner müsste in Folge des Tonus nach Durchscheidung der Schenkelbeuger das Glied in stetig gestreckter Lage verharren, was nicht der Fall ist. Der Grund des Anziehens liegt offenbar nur in Reflexbewegungen, denn der Schenkel bleibt in jeder beliebigen Lage, wenn man alle hintern Wurzeln eines Rückenmarkes abgetrennt hat; und der Grund des Verharrens in der Beugung besteht einfach darin, dass der Schenkel durch keine neue Muskelbewegung oder anderweitige Ursache aus ihr gedrängt wird. Zudem würde der Tonus nur für das Froschrückenmark gelten, da sich ähnliches nicht bei Hunden und andern Säugethieren, deren Rückenmark vom Hirn getrennt ist, findet. — 3. Die Bauchmuskeln eines geköpften Frosches sollen sich noch so spannen, dass der Unterleib eine runde Form erhält? In welcher Lage befand sich das Thier während der Beobachtung? — 4. Der m. sphincter ani einer geköpften Schildkröte soll noch so fest geschlossen bleiben, dass die in ihren Mastdarm eingebrachten Flüssigkeiten nicht aus ihm ausfliessen. Dann aber verhält sich der Afterschliesser ganz anders, als der des Menschen, da nach Verletzungen in Hals- und Brusttheilen des Rückenmarkes (also nach Abtrennung des Lendermarkes vom Hirn) der Afterschliesser vollkommen erschlafft, so dass der Koth unwillkürlich abgeht. Zudem scheint der Afterschliesser beim vollkommen gesunden Menschen nicht constant in der Zusammenziehung begriffen zu sein, sondern sich nur reflectorisch zu contrahiren, wenn die über ihm liegende Haut erregt wird. Diese Bemerkung rechtfertigt sich durch die Beobachtung, dass ein wohlgeölter Finger beim Eindringen in den After wohl Widerstände findet, dass er dagegen nicht mehr gepresst wird, wenn er, nachdem er einmal eingedrungen, ruhig in dem After verweilt. Inwiefern die Zurückhaltung des Kothes von der Zusammenschliessung des Afterkreises unabhängig ist, wird bei der Kothentleerung dargestellt werden.

Bringt man nun schliesslich in Erwägung, dass die Muskeln und Nerven auch die geringste Anstrengung nicht ertragen, vorausgesetzt, dass sie eine dauernde ist, so wird man mit Recht fragen, welche Hilfsmittel sie besitzen, um unter dem tonischen Vermögen des Rückenmarks nicht zu ermüden?

3) Die durch das Rückenmark tretenden Wurzelröhren, resp. ihre Fortsetzungen im intermediären System, müssen auf dem Verlauf durch das Rückenmark an ganz constanten Orten ihres Wegs mit einem geringern Grade von Erregbarkeit begabt sein, als an andern *).

Diese Annahme sind wir nämlich zu machen genöthigt, wenn sich die Beobachtung bestätigen sollte, wonach eine den Gesammtquerschnitt des Rückenmarks gleich heftig treffend Erregung eine verschiedene Stellung der hinteren und vorderen Extremitäten erzeugt, je nachdem der erregte Querschnitt näher oder entfernter vom Hirn gewählt war. Wenn, wie die anatomischen und physiologischen Beobachtungen beweisen, die Wurzelröhren durch das Rückenmark aufwärts zum Hirn dringen (wobei es begreiflich gleichgiltig erscheint, ob sie vollkommen ununterbrochen oder an einer Stelle unterbrochen verlaufen), so muss eine Erregung jedes Querschnittes, vorausgesetzt, dass dieser schon alle zu einer Extremität gehörenden Nervenwurzeln gefasst hat und alle Nervenröhren überall gleich erregbar sind, immer dieselben Erfolge für die Stellung

*) Engelhard, Müller's Archiv 1841. — Harless ibid. 1845. — Siehe auch Budge, Untersuchungen über das Nervensystem. — Volkmann, Müller's Archiv 1845.

einer Extremität herbeiführen. Dieses soll aber nicht eintreffen, indem Erregung eines Querschnittes in einer den unteren Rückenmarksenden nähern Gegend, Streckung, in einer höhern, Beugung, erzeugt; wenn in der That das Erregungsmittel alle Nerven in den verschiedenen Versuchen gleich stark getroffen hat, so würde das nichts anderes bedeuten können als: im Lendenmark überwiegt die Erregbarkeit der Strecknerven und im Halsmark die der Beugenerven.

C) Das Zeitverhältniss *), welches zwischen der Einwirkungsdauer eines erregenden Einflusses und der durch ihn erzeugten Erregung besteht, gestaltet sich im Rückenmark anders, als in der Nerven; in diesen letztern kommt und vergeht annähernd gleichzeitig mit dem Erregungsmittel die Erregung, während in erstern die Erregung gewöhnlich die Anwesenheit des Erregungsmittels lange überdauert; die Nachwirkungen des erregenden Mittels sind mit einem Worte im Rückenmark beträchtlicher. Dieses Ueberdauern der Erregung über die Erregungsmittel tritt ein, mag man die letzteren geradezu auf das Mark oder durch den sensiblen Nerven hindurch (reflektorisch) angewendet haben. — Am überraschendsten gestaltet sich die Nachwirkung, wenn sie sich rhythmisch einstellt, d. h. ihr Bestehen von Zeiträumen, in denen sie fehlt, unterbrochen wird. So hinterlässt z. B. ein Druck auf das Rückenmark auch nach seiner Entfernung häufig wechselnd gesteigerte und nachlassende Bewegungen der Hinterbeine, so dass in der Stärke der zurückbleibenden Erregung sich gleichsam Wellenbewegungen sichtbar machen.

D) Die Verschiedenheit der innern Zustände in den nervösen Elementartheilen des Markes von den gleichen der Nervenstämme macht sich nun endlich auch noch durch zwei andere Erscheinungen geltend, die uns aber nur andeutungsweise bekannt sind. — Zuerst nämlich soll sich die Erregbarkeit des motorischen Nerven unter dem Einfluss constanter elektrischer Ströme ganz anders gestalten, wenn der Nerv noch in Verbindung mit dem Rückenmark ist, als dann wenn er aus dieser Verbindung gelöst wurde. Siehe hierüber Veränderungen der Erregbarkeit durch den elektrischen Strom. — Zweitens aber sollen nach dem Aufhören des Blutlaufs die im Rückenmark befindlichen Nervenröhren theils rascher, theils langsamer absterben, als die in den Nerven enthaltenen; die sensiblen Nerven sollen nämlich früher ihre Lebenseigenschaften einbüssen, als die hintern Stränge, Longet, und die motorischen Nerven später als die motorischen Stränge, Valli, Ritter, so dass in dem

*) Volkmann, Beitrag zur nähern Kenntniss der motorischen Nervenwirkungen. Müller's Archiv 1845.

sensiblen Gebilde der Tod auf — und in dem motorischen absteigt. Diese letzte Thatsache ist begreiflich nur aus ursprünglicher Abweichung der Widerstandsfähigkeit in den verschiedenen Nervenröhren gegen die Todeseinflüsse abzuleiten.

B. Hirn und Hirnnerven.

1. Vom Elementarbau des verlängerten Markes. Die mikroskopischen Zergliederungen von Stilling und Lenhossek haben eine gründlichere Einsicht in den Bau der Medulla oblongata angebahnt; die Anordnung der Elementartheile in den andern Hirnprovinzen liegt dagegen noch fast ganz im Dunklen.

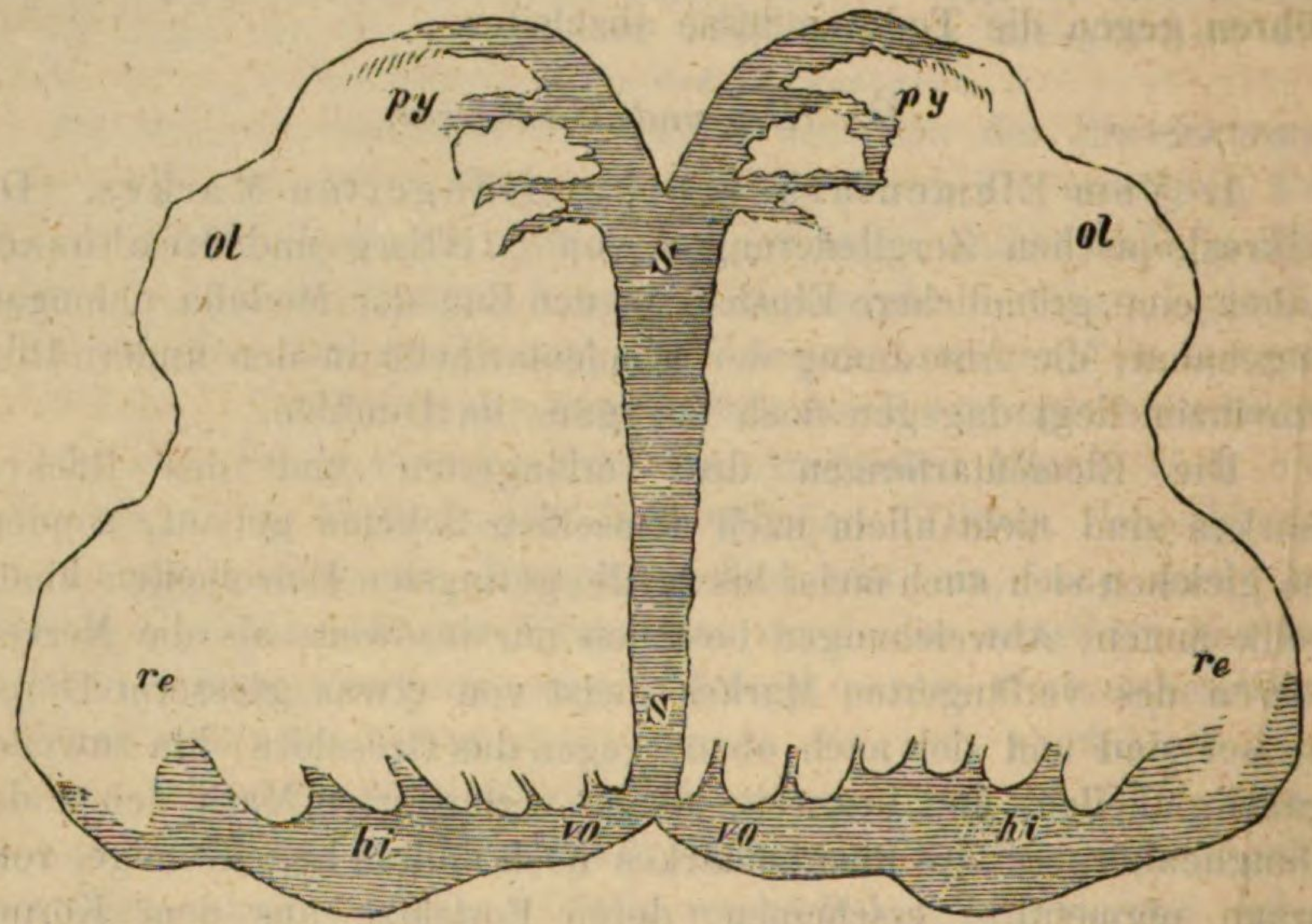
Die Elementarformen des verlängerten und des Rücken markes sind nicht allein nach demselben Schema gebaut, sondern sie gleichen sich auch meist bis in die geringsten Einzelheiten hinein vollkommen; Abweichungen bestehen nur insoweit, als die Nervenröhren des verlängerten Markes meist von etwas grösserm Durchmesser sind und sich nach oben (gegen das Grosshirn) hin zuweilen gabelig theilen; und insoweit, als im verlängerten Mark neben den Ganglienkörpern des Rückenmarkes noch andere kugelförmige, rothbraun pigmentirte erscheinen, deren Fortsätze aus dem Körper, ohne sich vorher getheilt zu haben, sogleich fein und fadenförmig hervorgehen.

Die Menge und Anordnung der Elementarformen ist dagegen im verlängerten Mark durchaus eigenthümlich.

a) Verhalten der grauen Massen. Die Analoga der vordern grauen Rückenmarkssäulen nähern sich im verlängerten Mark mehr und mehr der Mittellinie, bis sie unter vollständigem Verschwinden der Commissur beiderseits zusammenstossen. Die Fortsetzungen der hintern grauen Rückenmarkssäulen treten dagegen beiderseits so weit nach aussen, dass sie auf die äussern Seiten der ehemals vordern und nun innern grauen Columnen zu liegen kommen; während sich so die vier Columnen in eine Flucht legen, dass die frühern vordern zu innern, die frühern hintern zu äussern werden, begeben sie sich auch noch insgesammt so weit nach hinten, bis sie auf dem Boden der vierten Hirnhöhle frei zu Tage treten. Die Fortsetzungen der weissen Stränge des Rückenmarkes in das verlängerte Mark liegen sonach nicht mehr um, sondern vor den grauen Strängen, und sie würden in der Mittellinie sich unmittelbar berühren, wenn nicht aus den innern grauen Columnen ein Fortsatz, das Septum hervorginge, welches von hinten nach vorn steigend bis auf die freie Oberfläche

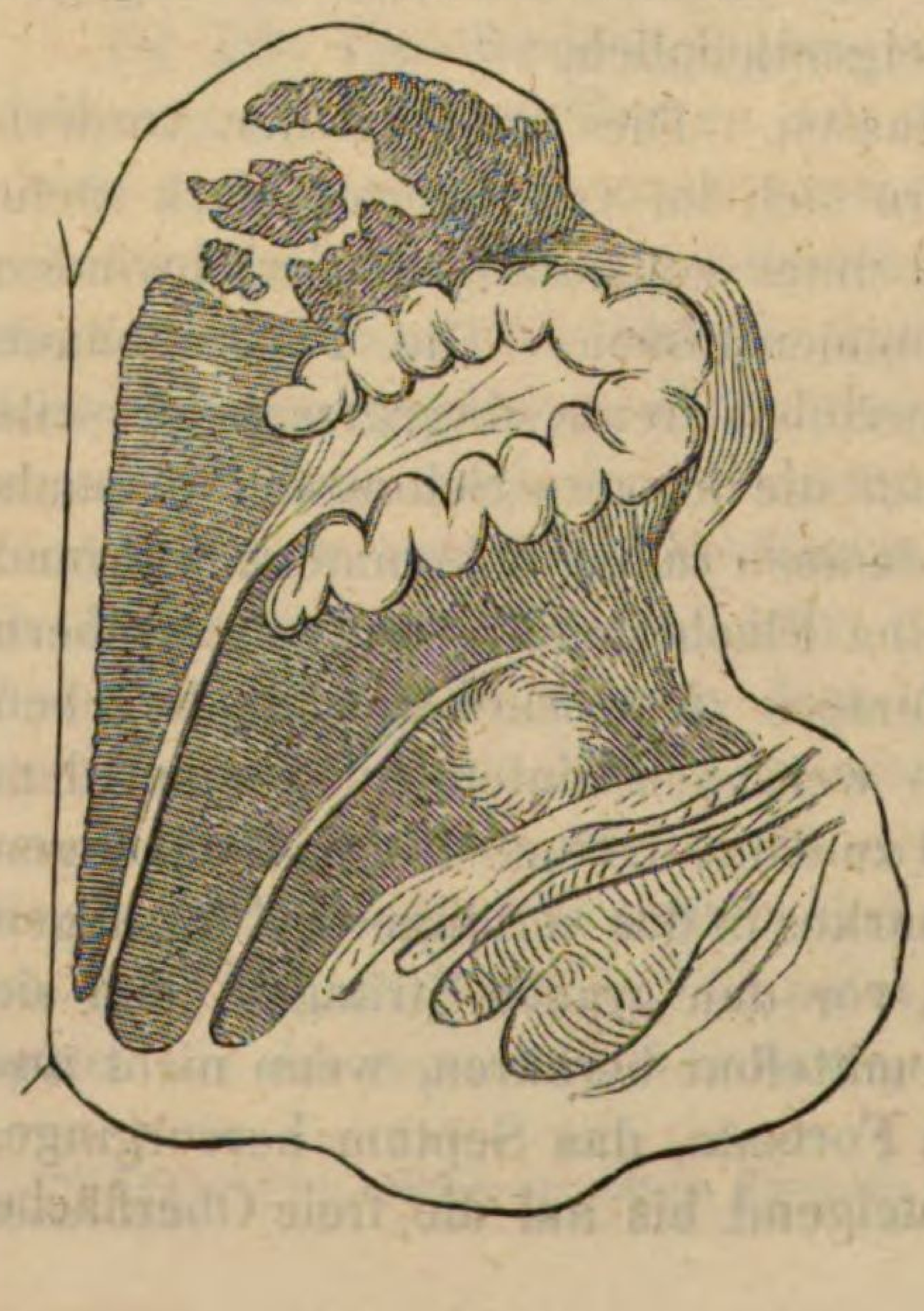
der Pyramiden dringt. Dieses Gebilde wäre also der Commissur zu vergleichen, von dem sich die Hörner abgelöst haben. Eine

Fig. 33.



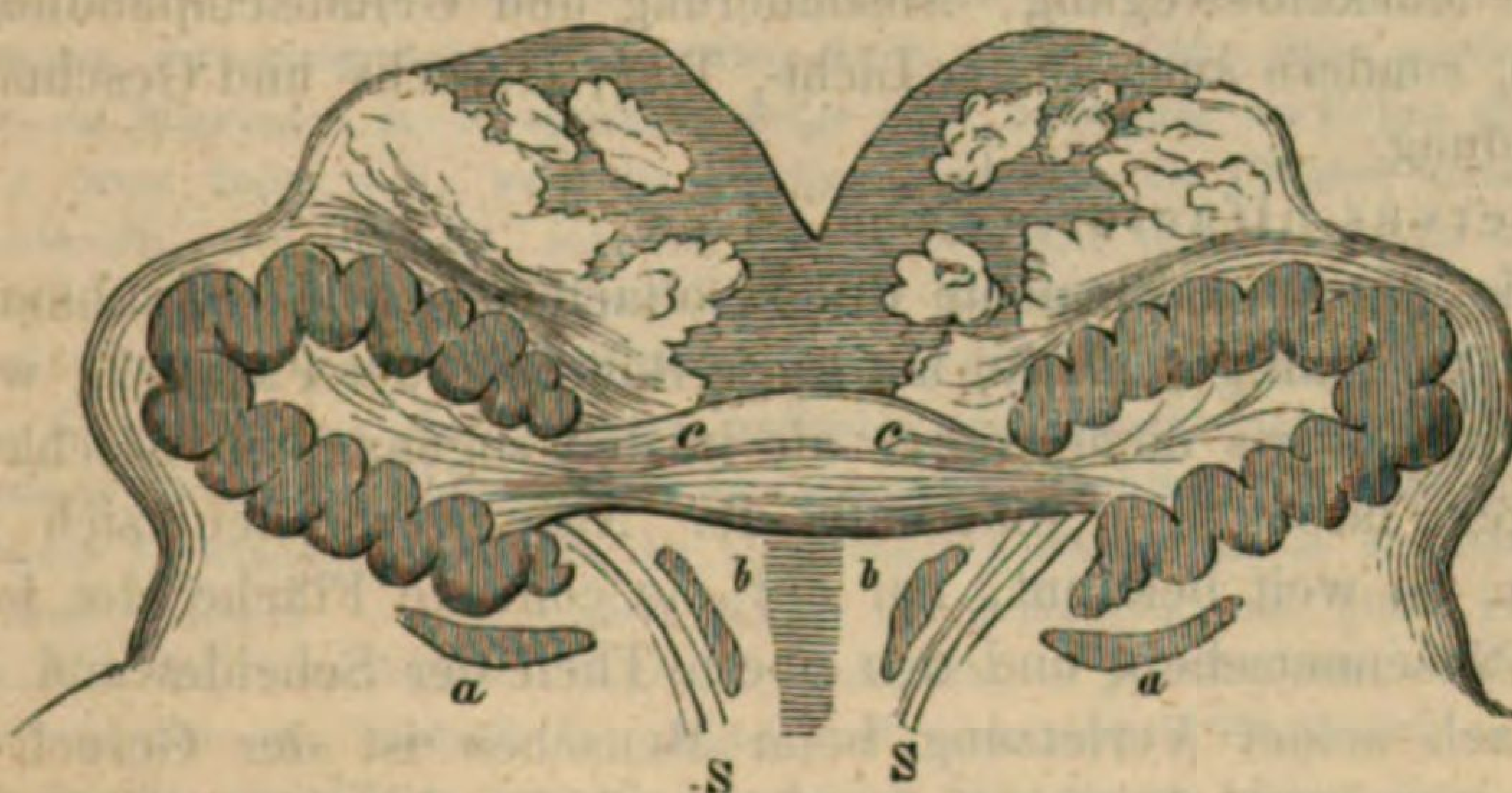
schematische Darstellung der bis dahin geschilderten grauen Masse nimmt sich wie in Fig. 33 aus; *S* steht am Septum, *hi* an den vormals hintern, *vo* an den vormals vordern grauen Säulen. — Gerade wie aus der grauen Masse des Rückenmarks, so gehen auch aus den grauen Colonnen des verlängerten Marks und dem Septum graue Strahlen hervor, und da sie hier wie dort die der betreffenden grauen Masse gegenüberliegende Markoberfläche zu erreichen streben, so kreuzen sich die aus dem Septum und den Colonnen hervorgehenden Radien, so weit dieses nicht durch andere Gebilde verhindert wird, und zerfällen das Mark in kleine oblonge, quadratische

Fig. 34.



und ovale Stückchen. Diese grauen Netze gibt Fig. 34 wieder, in welche zugleich die Olive eingezeichnet ist. — Ganz ohne Analogie im Rückenmark ist endlich die Olive und die Nebenoliven. Die Olive (Fig. 35) besteht aus einem Stiel, einer Commissur,

Fig. 35.



einem Mark und einer grauen Masse; sie ist einer kleinen Hemisphäre vergleichbar. Der Stiel *(S)* geht aus den innern grauen Columnen hervor und dringt von innen in den Raum, welcher die graue Masse der Olive umschliesst; vor der Einsenkung des Stiels entspringt die Olivencommissur *(c)* einer Nervenfaserung, welche das Septum durchsetzend, die beiden Oliven miteinander verbindet. Die graue Masse, welche nach Art der Gyri gebogen ist, schliesst die gewöhnlichen Ganglienzellen in sich, deren Strahlen in Fasern des Stiels und der Commissur übergehen. — Die Nebenoliven sind kleine graue Massen *a b*, welche in der einen Seite der Olive gelegen sind.

C) Markmasse. Die Fortsetzung der weissen Rückenmarksstränge in das verlängerte Mark nimmt bekanntlich in der Art zu, dass ein einzelnes aus dem Rückenmark herausgenommenes und in das verlängerte Mark präparirtes Bündel ungefähr das Ansehen eines Pinsels gewinnt. Diese Zunahme hängt, wie man theils vermuthet und theils weiss, ab von der Durchmesservergrösserung der Primitivröhren, von ihrer Vermehrung durch gabeltheilige Theilung, von neuhinzukommende Fasern, welche aus der grauen Substanz hervorgehen, und endlich durch die netzförmigen Gebilde, welche querlaufend sich zwischen die Längsbündel einschieben. — Diese Einschiebung neuer Massen nach zwei Richtungen erschwert die Verfolgung der aus dem Rückenmark kommenden so sehr, dass man sich wesentlich noch auf die Angaben beschränken muss, welche

auch mit Hülfe der Gall'schen Präparation und dem unbewaffneten Auge zu gewinnen sind.

2. Ausbreitungsbezirke und Funktionen der Hirnnerven.

Die Hirnnerven betheiligen sich nicht allein an den Vorgängen, welche Muskelbewegung, Absonderung und Gefühlsempfindung bedingen, sondern auch an der Licht-, Ton-, Geruchs- und Geschmacksempfindung.

Nervus olfactorius *).

Die nervösen Elemente des n. olfactorius sind eigenthümliche, blasse, kernhaltige, platte, marklose Röhren (oder Fasern?), welche sich hirnaufwärts nicht weiter als in den sogenannten Riechkolben verfolgen lassen. — Innerhalb der Nase verbreiten sich seine Fasern, so weit bekannt, nur auf die convexe Fläche der beiden obern Nasenmuscheln und den obern Theil der Scheidewand.

Nach seiner Verletzung beim Menschen ist der Geruch vollkommen zerstört, man darf ihn demnach für den einzigen Geruchsnerven ansprechen. Zudem scheint er auch ausschliesslich Geruchsnerv zu sein, da seine Verletzung bei Thieren keine Schmerzensäusserungen hervorruft.

Nervus opticus **).

Der Tractus und N. opticus bis zur Retina setzen sich aus feinen Nervenröhren zusammen; in seiner Ausbreitung als Retina finden sich Stäbchen, Körner und verzweigte Nervenzellen mit den Nervenröhren in Verbindung. Der Ursprung des Tractus kann bis in die Vierhügel, das Corpus geniculatum externum und den Sehhügel verfolgt werden, auf seinem weiteren Verlauf legt er sich innigst an den Grosshirnstamm, das Tuber cinereum und die Lamina terminalis an; ob er von diesen Gebilden Röhren aufnimmt, ist zweifelhaft. Im sogenannten Chiasma findet eine theilweise Kreuzung der Nervenröhren statt, der Art, dass die nach aussen gelegenen jedes Tractus zum gleichseitigen, die inneren eines jeden dagegen in den entgegengesetzt liegenden Nervenstamm treten. Ausserdem laufen an der vordern und hintern Kante des Chiasma Commissuren-

*) Todd and Bowmann physiological anatomy and physiology III. p. 9. — C. Eckhard, Beiträge zur Anatomie u. Physiologie; Giessen 1855. I. 77. — Siehe die weitere Literatur beim Geruchsorgan.

**) Longet, Anatomie et Physiologie du Système etc. II. 50. — Todd and Bowmann l. c. 39. — Foville, Anatomie du système cerebrospinal I. p. 510. — Brücke, das Auge. Berlin 1847. — Kölliker, mikroskop. Anatomie II. 1. 480 u. 517. — Hannover, im Jahresberichte über specielle Anatomie für das Jahr 1851 v. Henle p. 61. — H. Müller. Anatomisch physiolog. Untersuchungen über die Retina. Leipzig 1856.

fasern. Jeder N. opticus trägt demgemäss in beiden Augen zur Bildung der Retina bei.

Die Verletzung des Sehnerven bedingt vollkommene Blindheit; die Durchschneidung des Stammes oder eine mechanische Verletzung der Ausbreitung erzeugt beim Menschen keine Schmerzempfindungen.

Die Einsenkung und Kreuzung des Sehstreifens bis in die bezeichneten Stellen wird ausser der anatomischen Präparation durch pathologische Fälle constatirt, in welchen ein Schwinden des N. opticus in Folge einer Zerstörung der Retina eingetreten war; in ihnen finden sich, wenn die Verkümmerung über das Chiasma hinaus bis in den Sehstreifen sich erstreckt, entweder der gleich- oder der gegenseitige oder auch die beiden Streifen verändert. Diese wechselnd vorkommenden Resultate lassen sich nur aus obiger Hypothese erläutern, wenn sie noch den Zusatz erfährt, dass, ein alle Röhren des Nerven vor dem Chiasma treffender pathologischer Zustand, sich nicht gleichmässig durch das Chiasma hindurchzuerstrecken braucht. In einzelnen Fällen auffallenden Schwindens kann man die eingesunkenen Massen bis in die bezeichneten Hirnstellen verfolgen. — Die relative Menge der gekreuzten und nicht gekreuzten Röhren fällt bei verschiedenen Thieren (wahrscheinlich je nach der Augenstellung) sehr verschieden aus, weshalb die vergleichend anatomischen Thatsachen zu keinem Schluss für die menschliche Anatomie berechtigen. Ob die am hintern Rand gelegene Commissur des Chiasma in Beziehung zum Sehnerven steht, kann aus vergleichend anatomischen Gründen bezweifelt werden. S. Todd und Bowmann loc. citat.

Nervus acusticus *).

Seine röhrigen Bestandtheile sind schmal, leicht zerstörbar; in dem nervus vestibuli finden sich Ganglienkugeln mit Fortsätzen, die in Nervenröhren übergehen, eingestreut, und zwar sowohl im Verlaufe desselben, als in der Endigung auf Ampullen und Säckchen. In der Ausbreitung des n. cochleae in dem knöchernen Spiralblatt finden sich bipolare, in der Nervenscheide eingelagerte Ganglienkörper; mit seinen Enden an der häutigen Zone tritt er in die Corti-schen Organe (Kölliker). — Seine Wurzeln stammen nach verschiedenen Angaben aus sehr verschiedenen Theilen des kleinen Gehirns und verlängerten Marks. Nach den mikroskopischen Untersuchungen von Stilling und Lenhossek entsteht er so ausschliesslich aus den Fortsetzungen der hintern grauen Masse des Rückenmarks in die medulla oblongata, dass er gleichsam eine flügelartige Fortsetzung jener Gangliensubstanz darstellt.

Seine Zerstörung bedingt vollkommene Taubheit; durch den Akt der Verletzung wird kein Schmerz hervorgerufen.

*) Zu den angeführten Werken noch Pappenheim u. Corti in Kölliker's mikroskopischer Anatomie II. 1. 519. — Czermak; ibidem. — Corti; recherches sur l'organe de l'ouie etc. Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie 1851. 134. — Kölliker, Ueber die letzte Endigung des nerv. cochleae. Würzburg 1854.

Ausser den oben angegebenen Wurzelästen nennt man speciell noch den äussersten Markübergang der Brücke, das Velum posterius, die inneren Querfasern der Pons, den grauen Kern des kleinen Gehirns u. s. w. — Ueber die verschiedene Bedeutung des Nerv. vestibuli und cochleae siehe das Gehörorgan.

Nerv. oculomotorius *).

Nach übereinstimmenden Angaben lassen sich seine Wurzelfäden durch die Grosshirnstiele bis nahe unter den Boden des Aquaeductus Sylvii verfolgen, und treten in die dort vorhandene graue Substanz, welche in ununterbrochener Fortsetzung mit den vordern grauen Columnen des Rückenmarks steht. Sie verhalten sich nach ihrem Eintritt in dieselbe im Allgemeinen wie ein Rückenmarksnerv. Die Röhren ändern ihren Durchmesser, wenn sie aus der grauen in die weisse Substanz treten, nach Art der motorischen Rückenmarksnerven. Beim Menschen führt der Nervenstamm 15000 und zwar nur breite Röhren. Seine Verletzung innerhalb der Schädelhöhle soll nach einzelnen Angaben schmerzlos, nach andern schmerzhaft sein; innerhalb seines Verlaufs durch die Augenhöhle ist der oculomotorius offenbar empfindlich. Je nachdem man dem einen oder andern Befund mehr Zutrauen schenkt, lässt man den Nervenstamm schon von seinem Ursprung an mit sensiblen Fasern versehen sein, oder erläutert seine Empfindlichkeit aus der bekannten Anastomose, welche er mit dem n. trigeminus eingeht.

Wenn nicht ganz, so ist wenigstens unser Nerv seinem grössten Theile nach motorisch. Abhängig sind von ihm die Bewegungen der m. m. rectus superior, r. internus, r. inferior, obliquus inferior, circularis iridis, wahrscheinlich des musc. tensor choroideae und endlich des m. levator palpebrae superioris.

Der n. oculomotorius der Säugethiere weicht bezüglich seiner Vertheilung vom menschlichen sehr ab; bei ihnen begibt er sich nämlich nachweislich auch noch zum musc. rectus externus, musc. obliquus superior und dem eigenthümlichen retractor bulbi; dass er beim Menschen nicht noch den m. rect. extern. und den m. obliq. sup. versorgt, geht ausser der anatomischen Untersuchung auch noch daraus hervor, dass bei Lähmungen des n. oculomotorius das Auge kräftig nach aussen gerichtet ist, und um seine Längsachse (die sog. Sehachse) gedreht werden kann. Diese Lähmungen liefern auch den Beweis, dass er bei Menschen die Pupille verengert, weil unter diesen Umständen die Pupille zwar nicht besonders erweitert ist, aber durchaus nicht mehr verengert werden kann. Die allgemeine Annahme, dass er Verengerer der Pupille sei, wird auch noch dadurch unterstützt, dass bei intensiv-willkürlichen Erregungen des n. oculomotorius und namentlich bei der Einwärtsstellung des Augapfels der

*) Stilling, Bau des Hirnknotens. Jena 1846. — Rosenthal, de numero atque mensura microscopica fibrillarum. Breslau 1845.

Durchmesser der Pupille sich verkleinert. — In wiefern seine Lähmungserscheinungen beweisen, dass er auf den tensor choroideae wirkt, kann erst später erörtert werden; seine sehr bemerkenswerthe Stellung zu verschiedenen Hirntheilen wird ebenfalls erst später in Frage kommen.

Nervus trochlearis *).

Die Wurzelfäden des Nerven kommen aus der innern grauen Säule des verlängerten Markes am Beginn und in dem Verlauf des aquaeductus sylvii; sie treten dann über die Mittellinie hinaus auf die entgegengesetzte Seite und kreuzen sich, bevor sie die Hirnmasse verlassen, mit dem gegenüberliegenden Nerven im velum anterius. Der Stamm führt breite Röhren, ihre Gesammtzahl beträgt 1100 bis 1200. Der Nerv versorgt wahrscheinlich nur den musc. trochlearis mit motorischen Fasern.

Ausser dieser als gewiss anzugebenden Funktion schreibt man ihm zuweilen auch noch eine sensible zu. Seine physiologische Stellung zu den andern Hirntheilen siehe beim Sehorgan.

Nervus abducens.

Seine Wurzelfasern können durch die Längs- und Querfasern der Brücke hindurch verfolgt werden bis in eine graue Masse, welche am Boden der vierten Hirnhöhle gelegen ist, dem gemeinsamen Kern des facialis und abducens von Stilling. Der Stamm enthält 2000 bis 2500 breite Röhren.

Seiner Vertheilung gemäss ist seine einzige Funktion in einer Bewegung des m. rect. externus zu suchen; sensible Fasern besitzt er nicht.

Was seine Verbindung mit sympathischen Zweigen im sinus cavernosus und die Aestchen zu bedeuten haben, welche er öfter an das ganglion ciliare oder die Ciliarnerven schickt, ist unbekannt. — Bei Säugethieren versorgt er zugleich mit dem n. oculomotorius noch den m. retractor bulbi.

Nervus trigeminus **).

Die kleine Wurzel geht aus dem innern Theil der grauen Masse am Boden der Rautengrube hervor. Für die grosse Wurzel begnügt sich Lenhossek mit der Angabe, dass die von der äussern Partie der grauen Masse des vierten Hirnhöhlenbodens entspringe. Die Ursprungsbeschreibungen von Stilling sind dagegen verwickelter; die grosse Wurzel soll zum Theil eine Fortsetzung der hintern weissen

*) Ed. Weber, Art. Muskelbewegung in Wagner's Handwörterb. III. 2. Abth. — Stilling, der Bau des Hirnknotens. Jena 1846.

**) Romberg, Lehrbuch der Nervenkrankheiten. I. Bd. 33 u. 215. — Rahn, Untersuchungen über Wurzeln und Bahnen u. s. w. Henle und Pfeufer, N. F. I. Bd. — M. Schiff, Untersuchungen zur Physiologie des Nervensystems. Frankfurt 1855.

Stränge des Rückenmarks sein, zum Theil aus mehreren verschiedenen Ganglienhaufen kommen, die am Boden der vierten Hirnhöhle in die äussern Säulen eingelegt sind. Die grosse Wurzel enthält feine und grobe Röhren im Gemenge, der Stamm der kleinen 9000 bis 10,000 breite (aber keine feinen) Röhren. — In seinem Verlauf ausserhalb des Hirns enthält er das ganglion semilunare, welches sich vorzugsweise an die Fortsetzung der grossen Wurzel anschliesst. In diesem Ganglion scheinen alle Ganglienkörper in den Nervenröhren zu liegen.

Der nerv. trigeminus vermittelt die Empfindlichkeit der vordern Fläche des Ohrs und Gehörgangs, der Stirn, der Schläfen und Gesichtshaut, der Augenhöhle und des Auges, der inneren Nasenfläche, des Gaumens, des Zungenkörpers, des Bodens der Mundhöhle, der Zähne und der dura mater (?), und wohl auch einen Theil der Geschmacksempfindung.

Abhängig sind ferner von ihm mm. temporalis, masseter, pterygoidei, mylohyoideus, digastricus anterior, tensor palati mollis, der Circularmuskel, der Iris (?) und tensor tympani. — Nachweislich wirkt er ferner auf die Verengerung der Gefässe in der m. conjunctiva, iris (der Nasenfläche und des Zahnfleisches?). — Ferner auf die Absonderung des Speichels in gl. parotis und submaxillaris, und der Thränen in der gl. lacrymalis. Aus Versuchen an Thieren geht hervor, dass die grosse Wurzel fast nur sensible und die kleine alle motorischen Elemente enthält.

Ob der Nerv auch die Nasenschleimabsonderung und die Funktion der übrigen Speicheldrüsen vermittelt, ist wahrscheinlich, aber noch nicht erwiesen. Wenn man bei Lähmungen des Nerven am Menschen die entsprechenden Schleimhäute trocken fand, oder umgekehrt bei heftigen krankhaften Erregungen (Hyperästhesie), Speichel- oder Nasenschleimfluss, so kann dies auch aus reflektorischer Wirkung abgeleitet werden. Die Controverse über die theilweise Abhängigkeit des Geschmacksinnes siehe den n. glossopharyngeus und Geschmacksinn. Die eigenthümlichen Einflüsse des Nerven auf die Gefässe und die Muskeln der Iris werden in der Ernährungslehre und beim Auge betrachtet werden. — Zur Ausmittlung der Funktionen dieses Nerven bedient man sich einer eigenthümlichen, nur für diesen Nerven mit einiger Sicherheit anwendbaren Durchschneidungsmethode. Man durchbohrt mit einem eigends construirten Messer, dem sogenannten Neurotom *), den Schädel zwischen Ohröffnung und Augenwinkel, fährt auf der Schädelbasis hin gegen die Ausbreitung des Nerven auf dem grossen Keilbeinflügel und durchschneidet mit nach hinten und unten gewendeter Schneide den Nerven. Obgleich sehr häufig der Erfolg durch Verwundung von Hirntheilen, der Carotis, des sinus cavernosus etc. getrübt und öfter der ram. III (wegen seines frühen Eintretens in den Knochen) nicht durchschnitten wird, so gelingt es

*) Vid. Valentin, Lehrbuch der Physiologie II. 6. 362.

bei einiger Uebung doch öfter und was werthvoller ist, sicher nur den n. trigeminus zu durchschneiden und das Thier bis zu Monaten am Leben zu erhalten.

Nervus facialis *).

Bei seinem Austritt aus dem Hirn ist er aus zwei deutlich verschiedenen Bündeln zusammengesetzt, einem grössern und einem kleinern, der sogenannten portio intermedia Wrisbergi. — In das Hirn hinein lassen sich seine Röhren bis gegen die Mittellinie der grauen Substanz am Boden der Hirnhöhle verfolgen. — Der Stamm setzt sich aus 4000 bis 4500 breiten Röhren zusammen. Ein Angriff auf den Nerven vor seinem Eintritt in den meatus auditorius internus soll keine Schmerzen erzeugen; die Empfindlichkeit, welche der Nerv nach seinem Austritt aus dem foram. stylomastoideum darbietet, muss demgemäss durch Nervenröhren bedingt sein, welche aus andern Wurzeln stammend, in Anastomosen ihm beigemengt werden. Am wahrscheinlichsten gehören diese Fasern ursprünglich dem n. trigeminus und vielleicht dem n. vagus an. — Der Nerv ist vorzugsweise ein motorischer; es hängen von ihm ab sämmtliche zur concha auris gehörige Muskeln, m. stapedius, m. frontalis und occipitalis (?), m. corrugator supercilii, m. orbicularis palpebrarum, ferner sämmtliche Hautmuskeln der Nase, des Mundes mit Einschluss des m. buccinatorius, und die des Kinns; des platysma myoides, m. stylohyoideus, der hintere Bauch der m. digastricus, m. levator palati mollis. Endlich leitet seine Erregung auch die Absonderung des Speichels in der glandula parotis und submaxillaris ein.

Der Nachweis, dass keine sensiblen Fasern in den Wurzeln des n. facialis enthalten seien, ist nach einigen Autoren dadurch geführt, dass nach Durchschneidung des nerv. trigeminus in der Schädelhöhle auch der Stamm des n. facialis bei seinem Austritt aus dem foramen stylomastoideum aufhört, empfindlich zu sein. — Einige am Menschen beobachtete Thatsachen scheinen diese Angabe zu bestätigen; denn nach einer auf den nerv. facialis beschränkten Lähmung ist an keinem Orte die Empfindung verschwunden, und umgekehrt nach einer auf den n. trigeminus beschränkten Lähmung ist in den gemeinschaftlichen Regionen beider nirgends eine Spur von Empfindung erhalten. Die Behauptung, dass ihm der n. vagus durch seinen ram. auricularis Empfindungsfasern zutheile, ruht auf keiner Beobachtung. — Die bemerkenswerthe Anastomose zwischen n. acusticus und portio intermedia Wrisbergi ist in ihrer Bedeutung nicht erläutert. — Die Angabe, dass die chorda tympani die Muskeln der Ausführungsgänge der Speicheldrüse versorge, ist darum ungegründet, weil diesen Gängen das Muskelgewebe fehlt. — Die Bedeutung unseres Nerven für die Sinneswerkzeuge siehe bei diesen.

*) Nuhn, Versuche über den Einfluss d. n. facialis auf die Bewegungen des Gaumensegels in dessen Untersuchungen und Beobachtungen aus dem Gebiete der Anatomie etc. Heidelb. 1849. Derselbe. Henle und Pfeufer's Zeitschrift. N. F. III. Bd. 1. 29.

Nervus glossopharyngeus *).

Vom Boden der Rautengrube, unmittelbar über dem calamus scriptorius dringen aus der grauen Substanz die Wurzeln des Nerven und zwar zum grossen Theil aus dem Analogon der hintern grauen Rückenmarksmasse, zum geringern aus dem der vordern (Lenhossek). — Es ist wahrscheinlich, dass die Grenzbündel zwischen n. glossopharyngeus und n. vagus bald in den einen und bald in den andern Nerven gefasst werden. Der Stamm ist aus 3500 bis 4000 Röhren dargestellt. Ausser in den bekannten Orten des Stammes finden sich an seiner Verbreitung in der Zunge Ganglien.

Der Nerv enthält öfter, wenn nicht immer, motorische Fasern, welche zu den m. stylopharyngeus, constrictor faucium medius, m. levator palati mollis und m. azygos uvulae treten.

Fasern, deren Erregung Tastempfindung erzeugt, scheint der Nerv beim Kaninchen wenig, viele dagegen bei Katzen zu führen; die peripherische Verbreitung der sensiblen Elemente dürfte auf dieselben Stellen, wie die der schmeckenden geschehen. Vorzugsweise ist er dagegen der Geschmacksnerv der Zungenwurzel und des weichen Gaumens.

Die verschiedenen Angaben bezüglich der motorischen Wirkungen unseres Nerven können nur aus Verschiedenheiten in der Zusammenfassung der Wurzelbündel erläutert werden. — Der Mangel oder vielmehr die geringe Menge sensibler Fasern im glossopharyngeus des Kaninchens erhellt deutlich aus den Resultaten seiner Durchschneidung; ein gleicher Angriff auf ungefähr gleich grosse Aeste des trigeminus oder den ramus laryngeus superior n. vagi erzeugt viel heftigere Schmerzensäusserungen, als im glossopharyng. Biffi gibt dagegen an, dass bei Katzen seine Verletzung neben der bulla ossea sehr schmerzhaft sei, sodass die Zerrung des centralen Endes der durchschnittenen Nerven das Thier aus der Chlorformnarkose erweckt. Das Verschwinden einiger reflektorischer Bewegungen nach Durchschneidung des n. glossopharyngeus beweist nichts für die speziell empfindliche Natur der betreffenden Nervenröhren, weil auch die Geschmacksnerven Reflexbewegungen, analog den Wirkungen aller Sinnesnerven, auslösen können.

Nach den Untersuchungen von Stannius erschien es fast gewiss, dass der n. glossopharyngeus der einzige Geschmacksnerv gewisser Säugethiere, z. B. der Katzen, ist. Denn aus seinen Versuchen ging hervor, dass widerlich bitter schmeckende, geruchlose Substanzen (Chinin, Coloquinthenabsud) von dem Thier, dessen trigeminus durchschnitten war, selbst nach längerem Fasten niemals genossen werden, so lange der n. glossopharyngeus erhalten ist; diese Substanzen werden dagegen ohne den geringsten Widerwillen aufgenommen, sowie man den n. glossopharyngeus durchschnitten und den

*) Stannius. Ueber die Funktionen der Zungennerven. Müller's Archiv 1848. — Romberg, Nervenkrankheiten. I. Bd. 256. — Mayer, diss. sistens paralyseos nervi trigemini casum. Frcf. ad. Mœn. 1847. — Kölliker, Mikroskop. Anatomie II. b. 33. u. Verhandlungen d. physik. medizinischen Gesellschaft II. 169. — Biffi u. Morganti, Su i nervi della lingua etc. in Valentin, Jahresbericht über 1846. 197.

n. trigeminus erhalten hat. Nach einer brieflichen Mittheilung von Biffi verhält sich dieses jedoch durchaus anders. In der Untersuchung nahm er nur sehr zahme und besonders geschmacksempfindliche Katzen. Durchschnitt er beide n. glossopharyngei vor Abgang der Schlundzweige, so war die Zungenbasis und die hintern Mundtheile unempfindlich gegen Sulphas chinii und Coloquinthen; sowie aber mit dem Pinsel oder durch Kaubewegung ein Tropfen auf die Zungenspitze kam, äusserte das Thier lebhaften Widerwillen; durchschnitt er dagegen die rami linguales n. trigemini, so ist der Geschmack hinten erhalten und vorn gelähmt. Diesen letzten Versuch muss man jedoch bald nach der Durchschneidung vornehmen, weil sich die Thiere die unempfindliche Zunge zerbeissen. Beim Menschen sind die Thatsachen zweifelhafter. Hier sind allerdings Fälle bekannt, wo nach alleiniger und scheinbar vollkommener Lähmung des n. trigeminus die Geschmacksempfindung der Zungenspitze erhalten war; es stehen ihnen aber andere entgegen, wo unter gleichen Umständen sie erloschen gefunden wurde. Wenn man als Gegenbeweis gegen die Geschmacksfunktion des n. trigeminus geltend macht, dass man bei sogenannten Hyperästhesien des n. trigeminus (d. h. bei vom Hirn ausgehenden krankhaften Erregungen) keine subjektiven Geschmacksempfindungen der Kranken beobachtete, so müsste erst erwiesen sein, dass diese besondere Natur der Erregung überhaupt Geschmacksempfindungen bewerkstelligen kann. Die wenigen pathologischen Fälle, in welchen eine Zerstörung des n. glossopharyngeus beim Menschen beobachtet wurde, sind entweder mit andern Verletzungen zu sehr complizirt oder nicht genau genug beobachtet, um Schlüsse zu erlauben. Alle gegen die Geschmacksfunktion des n. trigeminus vorgebrachten Gründe werden überhaupt wenig überzeugend sein, so lange nicht erwiesen ist, dass sich Fasern des n. glossopharyngeus in die so empfindlich schmeckende Zungenspitze begeben, welche nach den vorliegenden anatomischen Untersuchungen allein vom n. trigeminus beherrscht wird. — Die Frage, ob die Fasern der Zungenspitze andere Geschmacksempfindungen vermitteln, als die der Zungenwurzel, wird bei dem Geschmackssinn besprochen. — Die Bedeutung des ram. tympanicus (Jacobsonii) ist vollkommen unbekannt. — Die Behauptung, dass der n. glossopharyngeus der Absonderung des Rachenschleims vorstehe, bedarf besserer Beweise, als die bis dahin vorgebrachten.

Nervus vagus und n. accessorius Willisii.

Die innige anatomische Beziehung zwischen beiden Nerven macht es zum Theil schwierig, zum Theil unmöglich, die jedem einzelnen zugehörige Funktion zu ermitteln. Den vorliegenden Thatsachen entsprechend wird hier zuerst jeder Nerv, so weit es angeht, gesondert und dann beide gemeinsam behandelt.

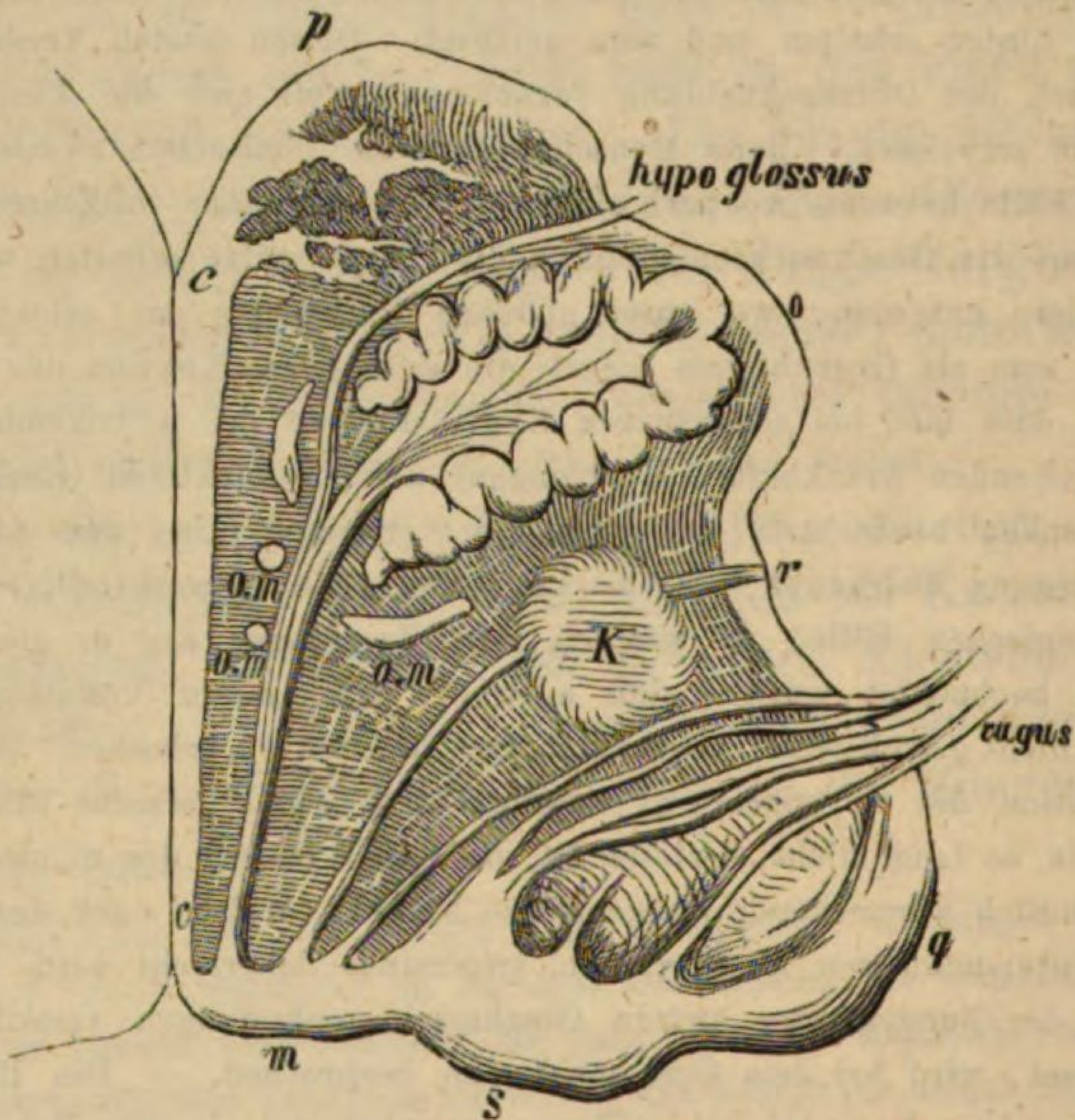
a) N. vagus *). Seine Wurzeln treten zwischen Oliven und corpora restiformia auf die Oberfläche. Sie entspringen (Fig. 36 ** siehe p. 198) zum Theil aus den motorischen *(m)* und zum Theil aus den sensiblen Säulen *(s)* der grauen Masse innerhalb der Rautengrube. Seine Wurzeln führen ungefähr 4000 schmale und 5000 breite Röhren.

Eine isolirte Erregung seiner Wurzelbündel bedingt eine Bewegung des m. levator palati mollis, m. azygos uvulae, arcus

*) Longet, Traité de Physiologie 1850. II. c. 306.

pharyngopalatinus, constrictor pharyngis supremus, medius (?), infimus, des Oesophagus und des Magens (?); der mm. cricothyreoideus, arytenoideus proprius, cricoarytenoideus posticus, lateralis und hyothyreoideus.

Fig. 36.



Derselbe Eingriff verlangsamt dagegen die Schlagfolge des Herzens, indem er die zwischen den einzelnen Herzschlägen liegenden Zeiten der Erschlaffung verlängert..

Diesen Beobachtungen von Volkmann, Bischoff, Bernard, Reid u. A. gegenüber hält Longet an der Behauptung fest, dass durch eine isolirte Erregung der Vaguswurzeln niemals eine Zusammenziehung irgend eines Muskels erzeugt werden könne. Seine sog. negativen Beobachtungen sind immerhin sehr beachtenswerth, weil in den Versuchen der vorgenannten Physiologen keine Rücksicht genommen zu sein scheint auf die Vermeidung der paradoxen Zuckung.

**) Zum Verständniss dieses bemerkenswerthen Durchschnitts durch das verlängerte Mark diene: (p) sind die Pyramiden, (o) die Oliven, (q) die strickförmigen Anschwellungen. Auf dem Boden der vierten Hirnhöhle ist m der funiculus teres oder die Fortsetzung der grauen Vorderstränge des Rückenmarks, (s) die alae cinereae oder die Fortsetzung der hintern grauen Hörner des Rückenmarks, (r) ein Wurzelbündel des radiären Nervensystems, (c c) das Septum, (o m) die inneren und äusseren Nebenoliven, (k) die Fortsetzung des Kegels.

Die Berührung seiner Wurzelfäden ist sehr schmerzhaft; die sensiblen Antheile verbreiten sich höchst wahrscheinlich in den Schlund, den Kehlkopf, Lunge, Speiseröhre und Magen.

Eine mit anhaltender Reizung verknüpfte Verletzung seiner Ursprünge vermehrt zuweilen die Wasserausscheidung durch die Nieren und bald die Absonderung des Zuckers in der Leber und den Uebertritt desselben in das Blut in dem Maasse, dass durch den Harn reichlich Zucker ausgeschieden wird. Dasselbe geschieht nach einer anhaltenden Erregung der centralen (mit dem Hirn verbundenen) Enden des am Hals durchschnittenen Vagusstammes. Eine einfache Durchschneidung des Nervenstammes am Hals bringt die Absonderung des Leberzuckers zum Stocken; die Durchschneidung des Nerven in der Brusthöhle unterhalb des Herzens stört dagegen die genannte Zuckerbildung nicht. Daraus folgt, dass der vagus reflektorisch in die Zuckerbildung eingreift (Cl. Bernard).

b) N. accessorius Willisii *). Der Ursprung desselben kommt nach unten mit den Fasern des plex. Purkinjei überein, nach oben entspringt er wie der n. vagus. Im Rückenmark geht er also aus den Querstrahlen der grauen Substanz in die Seitenstränge hervor, und in der m. oblongata gleichzeitig aus den nebeneinander gelegten motorischen und sensiblen grauen Colonnen. Seinen ersten Anfang setzte Lenhossek in die Lendenanschwellung. Die von da bis zum Halsmark austretenden Fäden sammeln sich zu einem feinen Stamm, welcher in der pia mater herläuft, und sie an der Stelle verlässt, um frei neben ihr zu liegen, an welche man bis dahin den Ursprung des Nerven zu setzen pflegte. Auf dem langen Wege seines Verlaufs empfängt der Stamm nicht fortlaufend, sondern nur mit Unterbrechungen einen Zuschuss von Fäden aus dem Rückenmark; die Ursprungsstellen sind beiderseits an Zahl nicht gleich. In den Nervenstamm sind zahlreiche Ganglien eingestreut. Die Röhren gehören zum grössern Theil zu den stärkeren, und zum kleineren zu den feinen. Die Zahl der stärkeren Röhren beträgt 2000 bis 2500.

Seine Rückenmarks-Wurzeln sollen sich vollkommen unempfindlich verhalten; die obern sollen empfindlich sein.

Seine motorischen Funktionen erstrecken sich auf die mm. levator palati mollis, tensor palati mollis, azygos uvulae, die Muskeln

*) Claude Bernard, Recherches expérimentales sur les fonctions du nerf spinal etc. Archiv. général. 1844. — Derselbe, Recherches experimentales etc. Paris 1851.

des Pharynx und den Oesophagus und einige noch nicht näher bestimmte Muskeln des Larynx; ferner auf die mm. sternocleido-mastoideus und cucullaris. Die beiden zuletzt genannten Muskeln sollen ihre Fäden einzig aus den vom Rückenmark aufsteigenden Wurzeln erhalten; die andern aus den Wurzeln der Medulla. — Es ist bemerkenswerth, dass verschiedene Wurzelbündel zu denselben Muskeln Zweige absenden.

Die Isolation der n. Vagus- und Accessoriuswurzeln behufs der Erregung unternimmt man entweder dadurch, dass man die Schädelhöhle des lebenden oder eben getödteten Thieres öffnet, oder dadurch, dass man bei Kaninchen und Katzen (nicht bei Hunden) am hintern Ast des n. accessorius empordringt und ihn möglichst nahe am for. jugulare mit einer stumpfen Pinzette ausreisst. — Bei Anwendung der ersten Methode sterben wegen Verblutung oder Lufteintritt in die Venen die Thiere bald und nur unter besonderer Vorsicht ist es gelungen, die Thiere kurze Zeit am Leben zu erhalten. Bei der zweiten sollen die Thiere länger am Leben bleiben; es fehlt aber vollkommene Gewissheit, ob man alle Wurzelfasern des n. accessorius und nur diese, und nicht zugleich Vaguswurzeln mit ausgerissen hat.

c) Gemeinsamer Stamm des N. vagus und accessorius *). Dieser Nervenstamm führt ausser den eben genannten Wurzeln bekanntlich noch andere, die dem facialis, dem hypoglossus, dem 2. Halsnerven und dem sympathicus angehören. — Die empfindlichen Flächen, welche von ihm versorgt werden, liegen an der hintern Wand des weichen Gaumens (?) im Schlund, in der Speiseröhre, dem Magen, Kehlkopf, der Luftröhre, den Lungen und dem Herzen.

Ausser den unter a und b erwähnten Muskeln regen die zum gemeinsamen Stamm vereinigten Nerven noch zur Bewegung an: die kleinen Muskeln der Trachea, die des Lungengewebes (?), den Magen, den Dünn- und Dickdarm, den Uterus (?).

Dem gemeinsamen Stamme wird auch noch zugeschrieben ein direkter Einfluss auf die Absonderungsthätigkeit der Magensaftdrüsen und die Verengerung der Capillargefässe der art. pulmonalis oder a. bronchialis; ob und in wie weit mit Recht, ist noch nicht erwiessen.

Man hat in Anbetracht, dass Zweige der nn. vagus und accessorius (?) zum Magen sich begeben, von ihnen das Hungergefühl abhängig gemacht. Diese aus anatomischen Gründen wahrscheinliche Hypothese werden wir bei der Verdauung besprechen. Dort wird auch die Frage über den Einfluss der Nerven auf die Verdauung abgehandelt. Nach Durchschneidung beider Vagusstämme am Hals füllen sich die Lungenbläschen

*) Donders. Onderzoekinge gedaan in hed physiologisch Laboratorium der utrechtsche Hoogeschool 2. Jaar 1849. p. 9 in der Abhandlung über den Zusammenhang zwischen Blutlauf und Athemholen. — Killan. Einfluss d. medull. oblongata etc. Henle u. Pfeufer. Neue Folge II. Bd. — Fowelin de causa mortis post nervos vagos dissectos. Dorpati 1851.

bald mit einer eigenthümlichen Flüssigkeit an, welche durch Störung des Athemgeschäftes den Tod herbeiführt. Es bleibt ungewiss, ob diese Flüssigkeit von den Lungen abgesondert wird, weil ihre Capillargefässe verändert oder weil die Intensität der Herzwirkungen vermehrt ist, oder ob sie aus der Mundhöhle durch die gelähmte Stimmritze dringen; die verschiedenen Hypothesen und deren Begründung werden bei den Athemfunctionen genauer mitgetheilt.

Am Oesophagus, Herz und wahrscheinlich auch an den Lungen dringt der Nerv jeder Seite auf beide Hälften der genannten Organe.

Den Einfluss, den die Pulmonaläste des n. vagus auf die kleinen Muskeln der Lungen ausüben, studirte man auf die Art, dass man in die Luftröhre ein heberförmig gebogenes, mit etwas Wasser gefülltes Glasrohr luftdicht einband und darauf den Stamm der n. vagi erregte. Wurde durch deren Erregung Zusammenziehung der Lungenmuskeln bedingt, so wurde die Lungenluft zusammengedrückt, in das Glasrohr getrieben und das Wasser gehoben. Den älteren Beobachtungen von Willis und Volkmann gegenüber leugnet Donders den erregenden Einfluss des n. vagus.

Nervus hypoglossus.

Seine Wurzeln gehen aus der Fortsetzung der vordern grauen Hörner in das verlängerte Mark hervor (Stilling), sie erscheinen zwischen Olive und Pyramide auf der untern Fläche des verlängerten Markes. Auf dem Querschnitt (Fig. 36) sind sie mit hypoglossus bezeichnet. Im Stamm führt er nur breite Fasern gegen 4500 bis 5000.

In der Schädelhöhle führt er keine (?) sensiblen Elemente; auf seinem weitern Verlauf wird er dagegen durch Beimengung von Röhren aus verschiedenen Nerven sehr empfindlich.

Seine motorischen Funktionen beziehen sich vorzugsweise auf die Zunge; die besondern Muskeln, die er versorgt, sind bald nur mm. styloglossus, hyoglossus, genioglossus, lingualis, thyreohyoideus, dann nächst diesen auch sternohyoideus, omohyoideus? und sternothyreoideus?

Während*) der Darstellung der Verbreitungsbezirke aller Hirnnervenwurzeln haben wir schon wiederholt darauf hingewiesen, dass sich durch den weitern Verlauf stetige Verflechtungen und Mengungen gesondert entspringender Röhren ereignen; hier ist nun schliesslich noch darauf hinzuweisen, dass auch die Rückenmarksnerven vielfach in das Gebiet der Hirnwurzeln eingreifen; namentlich dringen 1. durch den Halsstamm des n. sympathicus Zweige aus dem untern Halsmark und zwar zum levator palpebrae superioris, dem radialis iridis und in die Muskeln der Blutgefässwandungen der Hirn- und Gesichtshaut, in die glandula submaxillaris; — 2. sendet wahrscheinlich aus dem Dorsalmark der Sympathicus

*) Volkmann, Artikel Nervenphysiologie. — Budge, Neurolog. Mittheilungen, Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie 1851. — Compt. rend. 1851. 33. Bd.

Zweige in den ram. recurrens vagi; — 3. communiziren die obersten Halsnerven mit den Hirnnerven und namentlich erster und zweiter Halsnerv mit nn. vagus, accessorius und hypoglossus.

2. Längsleitung durch das Hirn*). — Nicht alle Theile des Gehirns sind Träger der Empfindung und willkürlichen Erregung und namentlich gehören zu den dadurch bevorzugten Orten nicht die Eintrittsstellen der Nerven. Die letzteren müssen also ihren erregten Zustand durch das Hirn weiterführen, und damit kehren auch alle die Fragen hier wieder, welche für das Rückenmark (S. 163) besprochen worden sind.

Die Methoden zur Feststellung der Thatsachen sind dieselben, welche schon beim Rückenmark erwähnt wurden; in ihrer Anwendung erheischen sie noch viel grössere Vorsicht, denn a) auf Erregung eines jeden bewegungserweckenden Hirntheils erhält man stets Bewegungen complizirter Art; niemals sind es einfache stetige Zusammenziehungen eines oder mehrerer Muskeln, welche genau so lange sich erhalten, als die Einwirkung des Erregers dauert, sondern immer Bewegungen von Muskelgruppen, deren einzelne Abtheilungen nach einer solchen Reihenfolge in die Zusammenziehung ein- und aus ihr austreten, dass z. B. eine scheinbar auf ein bestimmtes Ziel gerichtete Bewegung einer Gliedmasse oder ähnliches zu Stande kommt. Da auf direkte Erregung der Hirnmasse diese Erscheinungen auch eintreten ohne irgend welches Zeichen von Schmerzhaftigkeit, so führen sie zu dem Schluss, entweder dass die motorischen Röhren im Hirn, vermöge ihrer Lagerung und ihrer Erregbarkeitsverhältnisse, schon für sich in eine solche Anordnung gebracht seien, dass eine ausgedehnte (Gruppen von Nervenröhren treffende) Erregung jedesmal eine sogenannte zweckmässige und rhythmische Bewegung erzeuge, — oder dass es im Hirn unempfindliche reflektorische Fasern gebe. Weil uns kein Mittel zu Gebote steht, diese Zweideutigkeit wegzuräumen, so geben die Erfolge direkter Erregung zweifelhaften Aufschluss über die gerade Fortsetzung des Röhrenverlaufs durch das Hirn. — b) Auf ihrem Verlauf durch das Hirn sind die zu einem Muskel gehörigen Nerven mit verschiedenen Erregerquellen in Verbindung, mit seelischen, automatischen, reflektorischen; rücksichtlich der Stellung eines Muskels zu diesen verschiedenen natürlichen Erregern erscheint es vorerst gleichgiltig, ob derselbe aus drei oder noch mehr verschiedenen Orten verschiedene Nerven erhält, oder ob die besonderen Erregerquellen auf verschiedenen Stellen des Verlaufes eines und desselben Nerven angebracht sind, denn immer folgt aus der einen wie aus der andern Anordnung, dass Durchschnitte durch das Hirn, welche selbst einen oder den andern zu einem Muskel gehenden Nerven treffen, dennoch keine vollkommene Lähmung des Muskels erwirken. Weil uns nun aber bei Thieren nur gar zu häufig das Kriterium fehlt, ob eine Bewegung auf die eine oder die andere Art ursprünglich erregt sei, so wird ohne eine genauere Untersuchung, als man sie bisher anzustellen gewöhnt war, überhaupt die den Durchschnitt des Nerven begleitende Lähmung übersehen werden können; und somit erweist sich auch der Versuch zweifelhaft, welcher aus der den Durchschnitt begleitenden Lähmung den

*) Longet, Anatomie et physiologie etc. 1. Bd. — Volkmann, Artikel Hirn in Wagner's Handwörterbuch 1. Bd. — Valentin, Lehrbuch der Physiologie 2. Aufl. II. Bd. b.

Verlauf der motorischen Nervenröhren zu erschliessen sucht. — c) Die Nervenröhren sind in ihrem Verlauf durch das Hirn nun offenbar auch mit solchen Apparaten in Verbindung, welche den erregten zuckungerzeugenden Zustand des Nerven dahin umzusetzen vermögen, dass der Nerv statt Zuckung Muskelruhe erzeugt; mit andern Worten, es gibt im Hirn Vorrichtungen, deren erregende Kräfte dazu verwendet werden, den schon anderweitig erregten Nerven zu beruhigen. Alle Nerven, die in einen solchen Apparat eingehen, werden aber in Folge ihrer direkten Erregung Erschlaffung eines zusammengezogenen Muskels und umgekehrt nach ihrem Durchschneiden am passenden Orte Zusammenziehung eines erschlafften Muskels erzeugen. Auf diese eigenthümliche Stellung des Nerven ist man bis dahin ebenfalls noch nicht aufmerksam genug gewesen. — d) Die an den Individuen einer Species oder Gattung gewonnenen Thatsachen dürfen nicht unmittelbar auch als gültig angesehen werden für diejenigen anderer Familien oder gar anderer Klassen von Thieren. Denn wenn auch die bisherigen physiologischen Versuche über das Hirn wenig lehrreich waren, so haben sie uns doch mindestens die Versicherung gegeben, dass es eine ganz willkürliche Fiktion ist, aus äusserlicher Formähnlichkeit gewisser Hirntheile bei verschiedenen Thieren auf eine funktionelle Gleichartigkeit derselben schliessen zu wollen. — e) Zu diesen im Hirnbau liegenden Schwierigkeiten kommt nun eine andere Reihe, welche eingeführt werden durch die Operationsmethoden, Schwierigkeiten, auf deren Beseitigung man bis heute noch nicht gedrungen hat; zu ihnen zählt, dass man, um zu tiefer gelegenen Hirnparthieen zu gelangen, den Schädel öffnen, das Hirn abkühlen, Blutungen erzeugen und anderseits den Kreislauf des Blutes unterbrechen muss. Wie unmessbar sind diese Störungen! Endlich sind die bis jetzt angewendeten Erregermethoden weder in ihrer räumlichen Verbreitung, noch in ihrer Intensität abgestuft genug, um Gewähr zu leisten, dass man nur die Nervenmassen erregt habe, mit denen der erregende Apparat sich in unmittelbarer Berührung befand.

Wem die zahllosen Schwierigkeiten vor Augen treten, welche sich hier der Untersuchung entgegen werfen, und wer, im Geiste den wunderbaren Bau des Hirns schauend, von Staunen ergriffen ist über die Leistungen dieses zarten und verschlungenen Gefüges, der wird gewiss mit Abscheu sich wegwenden von den rohen Versuchen jener Klasse von Henkern, welche blindlings durch den Schädel hindurch mit Nadeln und Messern in das feinste aller Gebilde stechen und schneiden, unter dem dreisten Vorgeben, der Wissenschaft einen Dienst zu leisten. Das Beginnen dieser Hirnbohrer ist kaum weniger sinnvoll als das Bestreben, durch Schüsse aus Flinten und Pistolen, die man in eine Cylinderuhr sendet, die Funktionen ihrer Räder und Federn zu ermitteln.

a) Die motorischen Nervenröhren, die vom Rumpf in das Hirn steigen, erleiden eine totale Kreuzung, die, in den Pyramiden beginnend, innerhalb der Brücke vollendet wird, so dass alle Rumpf- und Extremitätennerven in den sogenannten Grosshirnschenkeln auf der ihrer Ausbreitung in den Muskeln entgegengesetzten Körperhälfte verlaufen. Oberhalb der Grosshirnschenkel lassen sich die Röhren nicht weiter mit Sicherheit als continuirliche verfolgen; dringen sie in der That von hier aus noch in ununterbrochener Fortsetzung durch Seh- und Streifenhügel zu den Grosshirnlappen, so müssen sie in Beziehung auf ihre Erregbarkeit beträchtliche Modifikationen erfahren.

Den Durchgang der motorischen Rückenmarksröhren durch die Pyramiden des Menschen bekräftigen pathologische Thatsachen, nach welchen eine nur auf die Bewegungsorgane beschränkte Lähmung des Rumpfes eintritt, wenn Geschwülste, die an der vorderen Wand des Rückgratkanals gelegen sind, die Pyramiden zusammengedrückt, resp. zum Schwinden gebracht haben; dass in ihnen eine Kreuzung der Nerven vor sich geht, wird dadurch bewiesen, dass das Fehlen nur einer Pyramide, sei es eine Folge ursprünglicher Entwicklung oder nachträglichen Schwindens, eine Lähmung der Muskeln auf der entgegengesetzten Rumpfhälfte zur Folge hat. Versuche an höher stehenden Säugethieren, namentlich dem Hunde, bei denen ebenfalls eine Kreuzung der Pyramiden auf anatomischem und physiologischem Wege erwiesen ist, machen es nun für den Menschen wahrscheinlich, dass die Kreuzung allmälig geschieht, indem eine Verletzung des unteren Theils der Pyramide zugleich gegen- und gleichseitige Lähmung nach sich zieht. — Verletzungen des Hirns in der Brücke und in dem Grosshirnschenkel lähmen nach ganz übereinstimmenden Angaben der bessern Pathologen immer die entgegengesetzte Rumpfhälfte; dass sich bis zu diesen Punkten die Hirnfasern als mehr oder weniger unmittelbare Fortsetzungen der Rückenmarksfasern gestalten, erschliessen wir, weil direkte Erregung derselben bei höhern Säugethieren, selbst nach Erlöschen aller reflektorischen Wirkungen, eine lebhafte Bewegung in den Gliedern der entgegengesetzten Seite hervorbringt. — Die physiologischen Versuche berechtigen nun aber vorerst nicht zu der Annahme, dass sich die Fasern aus den Grosshirnschenkeln ununterbrochen durch Seh- und Streifenhügel in die Grosshirnhemisphären erstrecken, weil bei den höherstehenden Säugethieren und namentlich dem Hunde durch die Erregung der letzteren Gebilde keine Bewegung des Rumpfs eingeleitet werden kann; jedenfalls stehen aber beide erwähnte Hirnganglien und ebenso das Dach der Seitenventrikel in einer bestimmten Beziehung zur Bewegung einer ganzen Körperhälfte, wie die folgenden Bemerkungen lehren.

b) Die physiologischen Versuche über den Verlauf der motorischen Kopfnerven innerhalb des Hirns beschränken sich darauf, dass der n. hypoglossus in Erregung gesetzt werden kann, wenn man den Boden der vierten Hirnhöhle an seiner hinteren Spitze mit mechanischen Mitteln angreift (Stilling); und ferner, dass die Augenmuskelnerven durch Einstechen in die Vierhügel in Thätigkeit gerathen. — Wie die Nerven des Rumpfs, so erfahren auch die des Kopfs eine totale Kreuzung.

Die Angabe älterer Pathologen, wonach die Kopfnerven entweder nur eine unvollkommene oder gar keine Kreuzung im Gehirn erfahren sollten, wurde durch Beobachtungen veranlasst, in welchen drückende Körper, die sich in der Schädelhöhle entwickelten, gleichzeitig auf die Rumpfnerven in ihrem Verlaufe durch das Gehirn, und auf die Kopfnerven, nachdem sie aus dem Gehirn getreten waren, einwirkten, so dass Lähmung des Rumpfes und des Gesichtes gleichzeitig, aber auf entgegengesetzten Seiten bestand. Romberg.

3. Verlauf der sensiblen Nervenröhren durch das Hirn.

Die sensiblen Nerven hat man im Einzelnen noch nicht durch das Gehirn verfolgt; man weiss nur, dass Berührung einer gewissen Anzahl von Theilen im Allgemeinen die Zeichen des Schmerzes er-

weckt, während eine Berührung anderer Theile diese Folge nicht nach sich zieht. Zu den schmerzfähigen Hirnparthien zählt man allgemein: corpora restiformia; diese verlieren nach Brown-Séquard ihre Fähigkeit Schmerz zu erregen, wenn sie durch einen Querschnitt von den hintern Strängen des Rückenmarks getrennt sind; diese Beobachtung ist um so merkwürdiger, als nach Ausführung des genannten Schnittes das Rückenmark noch empfindlich ist. Schmerzfähig sind ferner: corpora olivaria, der Boden der vierten Hirnhöhle mit Ausnahme des calamus scriptorius und des aquaeductus Sylvii, ferner die crura cerebelli ad corpor. quadrigemina, pedunculi cerebri. — Ueber die Empfindlichkeit der Pyramiden und der unteren Fläche der Brücke besteht noch Controverse; in die Vierhügel kann der n. opticus physiologisch verfolgt werden.

4. Mittheilung der Erregungszustände in den Nervenröhren des Hirns.

A) Reflektorische Erregung.

Wie das Rückenmark vermag auch das Hirn die Reflexbewegung zu vermitteln; dieselben charakteristischen Merkmale wie dort bietet sie auch hier. Wir bestimmen eine vom Hirn ausgehende Bewegung als eine reflektorische vorzugsweise dann, wenn sie gegen den Willen erfolgt oder wenn sie nach vorausgegangenen sinnlichen Eindrücken in unwillkürlich beweglichen Muskeln hervortritt.

Die reflektorischen Bewegungen, welche die sensiblen Hirnnerven erwecken, erstrecken sich nicht allein auf die Nerven des Hirns, sondern auch auf die des Rückenmarks. Eine gründliche Untersuchung ist diesen wichtigen Verhältnissen noch nicht zu Theil geworden. — Folgende reflektorische Beziehungen sind als die wichtigsten unter den bekannteren hervorzuheben.

a) Der n. opticus steht in nächster Beziehung zu den Zweigen des n. oculomotorius, welche die Pupille versorgen; wirkt der Lichteindruck stärker, so erstreckt sich auch sein Einfluss auf den ramus nerv. facialis pro orbiculo palpebrarum. — Ob er auf die Nerven der Thränendrüse einwirkt, steht noch dahin.

Die Erscheinung, dass nach längerem Sehen in die Sonne Niessen erregt wird, kann wegen des Abflusses der Thränen in die Nasenhöhle, und darum, weil sich auf der den warmen Sonnenstrahlen ausgesetzten vorderen Augenfläche Zweige des n. trigeminus verbreiten, nicht als Beweis gelten, dass der n. opticus auf reflektorischem Wege diesen complizirten Muskelakt hervorrufe.

b) Von der portio major nerv. trigemini findet sich der Ast für die Conjunctiva in Beziehung zum ram. pro orbiculo palpebrarum

des n. facialis und zu dem n. lacrymalis. — Seine Aeste für die innere Nasenfläche vermitteln auf reflektorischem Wege das Niessen und wirken demnach auf die Nasenäste des facialis, die Nerven für den arcus glossopalatinus (?), die Inspirations- und die Exspirationsmuskeln, und zwar auf alle diese in der eigenthümlichen Combination, dass auf eine volle und tiefe Inspiration eine kräftige und plötzliche Exspiration während vollkommen offener Stimmritze bei Abschluss der Mundhöhle von den Athemwegen erfolgt. — Der ram. lingualis soll reflektorisch auf den nerv. hypoglossus und die portio minor n. trigemini wirken.

c) Nerv. acusticus soll die Muskeln der sogenannten Gehörknöchelchen reflektorisch affiziren (?).

d) Nerv. glossopharyngeus erregt reflektorisch die Speichelnerven und die obern Muskeln des Schlingapparats, d. h. den ram. pharyngeus des n. vagus und ram. stylopharyngeus des n. glossopharyngeus.

e) Unter den sensiblen Portionen des nerv. vagus und accessorius steht der ram. laryngeus superior in inniger Beziehung zu dem ram. recurrens vagi und den Exspirationsmuskeln, welche er nach seiner Erregung zur sogenannten Hustenbewegung combinirt, ein Akt, bei welchem plötzliche stossweise Exspirationen bei zusammengelegter aber nicht gespannter Stimmritze geschehen. — Der ramus pulmonalis überträgt seine Erregung auf die Inspirationsmuskeln und zwar bei gesteigerter Erregung in ganz gewisser Reihenfolge, so dass die Inspiration zuerst nur mit dem Zwergfell und dann allmälig auch mit den mm. scaleni, serratus posticus superior, intercostales, levatores costarum u. s. w. vollführt wird, bis in den Bewegungsakt endlich auch die Schulterblatt- und Oberarmmuskeln gezogen werden. Der Schlundast soll im erregten Zustande auf die den Brechakt bewerkstelligenden Muskeln seine Erregung reflektiren.

Einzelne dieser Reflexbewegungen gehen vollkommen beschränkt nur zwischen ganz bestimmten Nerven vor sich; so erzeugt nur der n. opticus, nie der n. acusticus oder n. glossopharyngeus eine Pupillenerregung; niemals wird durch Berührung der äusseren Nase Niessen, oder durch Berührung der Zunge Husten eingeleitet. Bemerkenswerth ist es ferner, dass dieselben Muskeln von verschiedenen sensiblen Nerven in ganz verschiedener räumlicher oder zeitlicher Combination erregt werden. — Nicht minder wichtig erscheint es, dass einzelne Reflexbewegungen auch bei einseitiger Erregung des

sensiblen Nerven immer doppelseitig erscheinen, wie die Pupillenverengerung, Husten- und Niessbewegung, während andere nur einseitig vorkommen, wie z. B. der Schluss des m. orbiculus palpebrarum. — Die Muskeln, in welchen selbst bei grösster geistiger Aufmerksamkeit Reflexe erfolgen, sind entweder überhaupt unwillkürlich beweglich oder mindestens in der gerade auftretenden Combination vom Willen schwer oder gar nicht anzuregen.

Die Hirntheile, in welchen die erwähnten und überhaupt die reflektorischen Uebertragungen zwischen Kopfnerven geschehen, sind das verlängerte Mark und die Vierhügel; letztere enthalten vorzugsweise den reflektorischen Apparat für das Auge und werden darum das Centralorgan des Gesichtssinnes genannt. Der Nachweis, dass die bezeichneten Hirntheile die reflektorischen Heerde darstellen, geht daraus hervor, dass die Uebertragung noch geschieht, wenn man alle übrigen Hirntheile ausser ihnen entfernt hat, ja dass sie dann am sichersten vorkommt.

Es bedarf kaum der Erinnerung an die bekannte Thatsache, dass alle Kopfnerven bei höheren Erregungen schliesslich reflektorische Krämpfe fast aller Muskeln des menschlichen Körpers bewerkstelligen können.

B) Mitbewegung, Mitempfindung und Reflexempfindung sollen ebenfalls zwischen den Hirnnerven bestehen, es ist aber hier so wenig als am Rückenmark ein scharfer Beweis dafür zu liefern.

1. Mitbewegung. — Mit Uebergehung aller andern gar nicht einmal zum Beweisverfahren zulässigen Thatsachen ist hier nur zu erwähnen, dass das unwillkürlich bewegliche Herz von der Seele aus eine Veränderung seiner Erregung erleiden kann, wenn gleichzeitig eine gewisse Zahl von andern willkürlich motorischen Theilen in Bewegung kommt.

2. Mitempfindung. — Sehen in das Licht, ein Sandkörnchen in der Conjunctive soll Kitzeln in der Nase hervorrufen? Hat man in diesem Falle die Thränen von der Nase abgehalten, und den Kopf so gestellt, dass nicht zugleich die Sonne in die Nasenöffnung schien? Oder ist hierbei gar eine Absonderung des Schleims in der Nase übersehen worden? Nach Berührung des äussern Gehörgangs entsteht ein eigenthümliches Kitzelgefühl im Kehlkopf und Neigung zum Husten; ist das nicht vielmehr ein Reflex auf die Muskeln der Stimmritze? — Hören eines Tons nach Streicheln der Wange kann ebenso als Reflex auf die Muskeln der Gehörknöchelchen gedeutet werden u. s. w. Die einzige Erscheinung, welche vorerst keine andere Deutung zu erlauben scheint, ist die, dass nach dem Hören besonderer Töne ein eigenthümliches Gefühl in den Zähnen entsteht.

3. Reflexempfindung. — Ein schielendes Auge soll lichtscheu sein; hat es etwas auffallendes, dass ein wenig gebrauchtes Auge besonders empfindlich ist?

Man sieht aus dieser Musterung der Thatsachen, dass kaum eine derselben auch nur die Hypothese wahrscheinlich macht, gegenüber den tausenden von Fällen, in denen isolirte Empfindung und Bewegung in den Hirnnerven vorkommt.

5. Verbindungsmassen zwischen den Fortsetzungen der Nervenwurzeln und den Organen der Willkür.

Eine grössere Zahl von Hirntheilen übt, ohne dass durch ihre direkte Erregung im physiologischen Versuch eine Muskelbewegung eingeleitet werden kann, dennoch im Leben einen entschiedenen Einfluss auf dieselbe und besonders insofern die Bewegungen vom Willen abhängig sind. Dieser Einfluss äussert sich in verschiedenen Hirnmassen verschieden.

a) Verletzung einiger Hirntheile*) zieht die Folge nach sich, dass die vom Willen veranlassten Ortsbewegungen für gewöhnlich, wenn auch nicht für immer, eine ganz bestimmte Form annehmen. Nach Durchschneidung des Streifen- und Sehhügels, eines Brückenschenkels oder Seitentheils vom cerebellum entstehen bei Säugethieren keine Lähmungen, insofern sich die Thiere bei vollkommener Ruhe auf ihre Gliedmaassen wie im unverletzten Zustand zu stützen vermögen; sowie die Thiere sich aber zu bewegen streben, tritt sehr häufig die eigenthümliche Erscheinung hervor, dass sie nur nach einer bestimmten Richtung hin sich zu bewegen im Stande sind, so dass es scheint, als sei dem Willen die Fähigkeit geraubt, andere als diese eine Combination der Muskeln in Bewegung zu rufen. — Diese an Säugethieren gewonnenen Erfahrungen werden auch durch pathologische Beobachtungen am Menschen bestätigt (?), indem auch bei ihnen sogenannte Zwangsbewegungen beobachtet sein sollen.

Dieses Feld ist noch wenig bekannt und die Früchte seines bisherigen Anbaues sind höchst zweifelhafter Natur. — Nach Durchschneidung des Sehhügels in seinen vordern Theilen soll das Thier eine Kreisbewegung vollführen, in der Art, dass die verletzte Seite gegen den Mittelpunkt des Kreises gerichtet ist; nach Durchschneidung des hintern Sehhügelabschnittes und des Grosshirnstammes entsteht dieselbe Bewegung, aber nach der entgegengesetzten Seite; während dieser Bewegungen ist zugleich der Hals des Thieres nach der Richtung der Drehung hin verzogen. — Durchschneidung der Brückenschenkel und der Seitentheile des kleinen Hirns bedingt eine Wälzung des Rumpfs um seine Längsachse, verknüpft mit stark divergirender (auswärts schielender) Augenstellung. Verletzung des Streifenhügels soll nach einzelnen noch bestrittenen Angaben die Thiere nach vorn zu laufen zwingen. Die Behauptung, dass Ausreissen des nerv. facialis aus dem for. stylomastoideum bei Kaninchen Drehbewegung erzeuge, ist nicht richtig. — Beim Menschen sollen krankhafte Umwandlungen oder Schwund der Brückenschenkel zwangsartige Drehbewegungen des Rumpfs um seine Längsachse bedingen. Die eigenthümlichen Drehungen, die man bei Thieren nach Verletzung der Sehhügel u. s. w. beobachtet, kommen beim Menschen nicht vor; wohl aber Lähmungen

*) Longet, Traité de Physiologie. II. 6. 215. — Türk, Zeitschrift der Wiener Aerzte 1855 Januar.

von Muskeln, welche immer auf der dem verletzten Sehhügel entgegengesetzten Körperhälfte liegen, und neben diesen Verziehungen des Halses nach der gelähmten Seite.

Die diesen dunklen Phänomenen untergeschobenen Deutungen sind mindestens unbedeutend; ihre Giltigkeit ist nicht erwiesen; so glaubt man, dass die Erscheinungen der Drehbewegung von einseitiger Lähmung des Willens auf eine Seite abzuleiten seien, oder von gleichzeitiger Lähmung des Adduktoren einer- und der Abduktoren andererseits u. s. w.

b) Verletzung anderer Theile, von denen aus im physiologischen Erregungsversuch unter keinen Umständen Bewegung eingeleitet werden kann, vernichtet die Abhängigkeit gewisser Nervenröhren von dem Willen und der Empfindung vollständig, obwohl hierbei die Seelenfunktionen und die Erregbarkeit der Nerven bis ins verlängerte Mark hinein vollkommen unangetastet bleiben, wie dieses letztere namentlich aus dem Bestehen der Reflexbewegungen hervorgeht. Zu diesen Hirnbestandtheilen gehören beim Menschen die Grosshirnhemisphären, deren Verletzung gewöhnlich eine Lähmung der Empfindung und Bewegung, und zwar immer in gekreuzter Weise (d. h. in der Seite, welche der verletzten Hemisphäre entgegengesetzt liegt) begleitet. Es scheint zugleich, als ob beständig den lokalen Verletzungen der Hemisphären lokale Lähmungen der Nervenwurzeln entsprächen; die sich deckenden Punkte sind aber noch nicht ermittelt. Alle auf diese Thatsachenreihe bezüglichen Erscheinungen erläutern sich nur, wenn man die ganz gewagte Annahme macht, dass zwischen den Nervenwurzeln (die im verlängerten Mark enden?) und den Seelenorganen ein System von Nervenröhren u. s. w. gelegen sei, deren Erregbarkeit eine andere sei, als diejenige der meisten übrigen Nervenröhren, so dass sie von dem Willen, aber nicht durch die gewöhnlichen Erreger in Thätigkeit versetzt werden könnten.

Die Erfahrungen über die Leistungen der menschlichen Grosshirnlappen können nur aus pathologischem Befunde am Menschenhirn gemacht werden, weil die Grosshirnlappen nach den vorliegenden Versuchen bei verschiedenen Thieren eine verschiedene Bedeutung haben. Hier scheint als Gesetz zu gelten, dass je geringer die Ausbildung der Hirnlappen ist, um so unbeträchtlicher auch ihr Einfluss auf willkührliche Bewegung und Empfindung ausfällt. — Einem Frosch z. B. kann man die sog. Grosshirnlappen ohne alle sichtbaren Folgen entfernen; bei den Vögeln erzielt Wegnahme derselben kaum irgend eine Störung der Bewegung; die Thiere stehen, fliegen, sehen u. s. w. Bei Kaninchen bewirkt die Entfernung derselben ebenfalls keine Lähmungserscheinung und erst der Hund fällt nach Verletzung derselben gelähmt zu Boden. Die durch Krankheitsprodukte herbeigeführten Hirnveränderungen werden aber, abgesehen davon, dass sie meist an und für sich wenig lokalisirt sind, noch dadurch vieldeutig, dass sie ausser der örtlichen Zerstörung, die sie herbeiführen, mannigfache accessorische Wirkungen, z. B. durch Veränderung des Blutlaufs, allgemeinen Hirndruck durch vermehrte Anfüllung der Schädelhöhle u. s. w. herbeiführen.

Man muss es für gewiss halten, dass einzelne Stellen der Grosshirnlappen nur mit bestimmten Nerven in Beziehung stehen, weil die Beobachtungen nicht selten sind, in denen auf eine beschränkte Verletzung in erstern entweder nur die Empfindung oder seltener nur die Bewegung, oder nur die Bewegungsorgane des Rumpfs, oder einzelner Glieder oder gar nur diejenigen eines einzigen Nerven gelähmt sind. — Es hat aber trotz dieser Beobachtungen und der entsprechenden Hirnsektionen nicht gelingen wollen, die zusammengehörigen Theile zu ermitteln, weil eine Affektion desselben Nerven durch Krankheit der hintern, mittlern und vordern Grosshirnlappen beobachtet wurde. Man muss nach dieser Beobachtung annehmen, dass die einer Nervenfaser entsprechende Grosshirnfaser ununterbrochen durch die ganze Hemisphäre in mannigfachen Windungen hinzieht. — Hier ist auch die wichtige Beobachtung anzureihen, dass ein nach dem Längendurchmesser der Hemisphären geführter Schnitt weit weniger schädlich wirkt, als ein Querschnitt. — Den beim Menschen erschlossenen Zusammenhang kann man auch bei Säugethieren darstellen, wenn man einzelne sensible Nervenstämme unterbindet und dauernden, schmerzhaften Erregungen aussetzt. In diesem Fall treten öfter beschränkte Entzündungen und Eiterungen in einem Grosshirnlappen hervor, welche auf der der ursprünglichen Verletzung entgegengesetzten Seite liegen. — Vollkommen unklar ist es noch, warum sich bei einzelnen sogenannten Hemiplegien Contrakturen, d. h. dauernde Verkürzungen einzelner Muskeln, namentlich der Flexoren finden, während sie andermale fehlen; sind hier die Einflüsse muskelerschlaffender Hirnorgane vernichtet?

c) Obgleich nach theilweisen Zerstörungen der ebenfalls unempfindlichen und auf direkte Erregung keine Bewegung veranlassenden Kleinhirnhemisphären öfter einseitige mehr oder weniger ausgebreitete Lähmungen entstehen, so müssen wir doch nach der Gesammtsumme der vorliegenden Thatsachen behaupten, dass sie nicht wie die Grosshirnhemisphären weder im Ganzen noch im Einzelnen Vermittler zwischen der Seele und den Nerven sind. Diese Behauptung rechtfertigt sich vollkommen, wenn man erfährt, dass zahlreiche Fälle von fast vollkommener Zerstörung des kleinen Gehirns und sogar einer von Mangel desselben beobachtet wurden, ohne dass Empfindung und willkürliche Bewegung auch in nur einem Körpertheile fehlte. Wenn also in einzelnen Fällen neben Zerstörung des Kleinhirns Lähmungen beobachtet werden, so müssen sie demgemäss Folgen anderer begleitender Hirnveränderungen sein.

Die bekannten und oft wiederholten Versuche an Vögeln, wornach die Abtragung des kleinen Gehirns die willkührlich ausgeführten Bewegungen schwach und ungeschickt, den Gang schwankend machen, sind für die Physiologie des Menschen ganz uninteressant, da man nie etwas ähnliches nach Verletzung seines Kleinhirns beobachtete.

6. Eigenthümliche Erregbarkeitsverhältnisse im Hirn.

Alle die Erscheinungen, welche wir unter der gleichen Ueberschrift im Rückenmark beschrieben haben, finden sich auch im Hirn

wieder, und namentlich zeigt sich, dass gewisse Gifte in derselben Weise hier wie dort wirken; dass trotz der Gegenwart nervöser Elemente dennoch einzelne Stücke des Hirns in keine sichtbare Erregung durch die gewöhnlichen Erreger zu versetzen sind, und endlich, dass das Verhältniss der Andauer zwischen der Erregung und der sie einleitenden Erregerwirkung sich ähnlich wie im Rückenmark gestaltet. — Als eine Besonderheit des Hirns vor dem Rückenmark ist aber noch hervorzuheben, dass es eine eigenthümthümliche Art unwillkürlicher Erregungsquellen in sich führt, auf deren Betrachtung wir im Folgenden eingehen.

Selbsterregung, Automatie. Vom Hirn aus werden ohne Zuthun des Willens und ohne dass auch eine reflektorische Ursache vorläge, eine Reihe von Bewegungen erregt; wir sind darum gezwungen, noch einige besondere, Erregung erzeugende Umstände in ihm anzunehmen, die wir in Ermanglung schärferer Bezeichnung mit den obigen Namen belegen. Die besondern Erscheinungen, unter denen die Selbsterregung auftritt, sind folgende: a) Die Orte des Hirns, von welchem die automatischen Erregungen ausgehen, sind ganz beschränkt. — b) Jede automatische Erregung erstreckt sich nicht auf einen, sondern immer auf eine Zahl von Muskeln; diese Muskeln werden immer nur in einer und derselben, räumlich und zeitlich genau geordneten Weise erregt, so dass der aus ihnen hervorgehende Bewegungseffekt als ein solcher erscheint, der auf ein bestimmtes Ziel gerichtet ist; als Beispiele solcher Bewegungen dienen die Athem- und Schlingbewegungen. — c) Die Erregung stellt sich in mehr oder weniger regelmässigen Zwischenräumen wieder ein, oder sie ist, wie man sich ausdrückt, eine rhythmisch wiederkehrende. Auf die Beschleunigung, resp. die Verlangsamung des Rhythmus sind von Einfluss: der Willen, indem es diesem gelingt, den selbsterregenden Apparaten einen Anstoss zu geben, in Folge dessen die Bewegung in gewöhnlicher Reihenfolge eintritt; die eigenthümliche Stellung des Willens zu diesen Apparaten liegt darin ausgesprochen, dass es uns für einzelne automatisch bewegte Apparate, wie in denen für den Schlingakt, nicht gelingt, die Ordnung, in der die Muskeln sich zusammenziehen, umzukehren, wenn wir die Gesammtbewegung auch willkürlich einleiten können. Ferner wirkt auf den Rhythmus der Reflex, wie am deutlichsten aus den Athembewegungen sichtbar wird, welche durch Erregungen der empfindlichen Haut- und Lungennerven sehr beschleunigt werden können. Ferner übt auf die Beschleunigung des Rhythmus einen

Einfluss aus eine gewisse Zusammensetzung des Blutes, indem bei Anwesenheit gewisser Stoffe (wie z. B. der Kohlensäure?) sich die Athembewegung beschleunigt, während bei Gegenwart anderer, wie des Opiums, sie sich verlangsamt. — d) Zwischen Stärke und Zeitfolge der Bewegung scheint die Beziehung zu bestehen, dass die Intensität der Erregung mit der steigenden Beschleunigung der Aufeinanderfolge abnimmt; mit andern Worten, die Bewegungen werden um so weniger kräftig, je rascher sie folgen, wie uns am deutlichsten die Athembewegungen zeigen. Eine durch die Erfahrung bestätigte Folgerung dieses Satzes besteht darin, dass die zwei aufeinanderfolgende Bewegungen unterbrechende Pause niemals verschwinden kann. — e) Das wirkungsvolle Bestehen der Selbsterreger knüpft sich an die Gegenwart normal zusammengesetzten Arterienblutes im Hirn; wird dieses den automatischen Hirnstellen nur kurze Zeit entzogen, so büssen sie ihre physiologischen Leitungsfähigkeiten vollkommen ein.

Diese Thatsachen, welche mehr vorübergehend als in Folge gründlicher, eigens zur Erkennung der Selbsterregung unternommener Versuche gewonnen sind, genügen begreiflich nicht, um eine Theorie der den Erscheinungen zu Grunde liegenden molekulären Veränderungen zu geben.

Die einzigen etwas genauer gekannten Orte, die der Selbsterregung theilhaftig sind, befinden sich im verlängerten Mark; sie beherrschen α) die Athembewegung*). Die Hirnstelle, welche die Athembewegungen anregt, liegt im verlängerten Mark (Legallois), unmittelbar um die Wurzelfasern des nervus vagus und der obern des nerv. accessorius. Ihre Ausdehnung beträgt der Länge nach kaum eine Linie (Flourens); sie nimmt die Dicke des verlängerten Markes nicht ein, indem man die corpora restiformia und die Pyramiden abtragen kann, ohne dass der Rhythmus der Athembewegungen beeinträchtigt wird, Longet; zugleich erstreckt sie sich nicht über die Mittellinie des verlängerten Markes, da nach einer Längsspaltung desselben die Athembewegungen noch fortdauern, Longet. Von dieser Stelle aus werden erregt das Zwerchfell, die mm. thyreoarytenoidei postici, levatores, alae narium, scaleni, levatores costarum, intercostales externi, sternocleido-mastoidei, und fast sämmtliche Schulterblatt-Rumpfmuskeln und Armheber.

*) Flourens, détermination du point vital de la moëlle allongée. Compt. rend. XXXIII. 437. — Longet, Traité de physiologie. Paris 1850. II. Vol. deux. part. pag. 206.

Wie jeder, auch der Anfänger weiss, werden nicht bei jeder Athembewegung alle erwähnten Muskeln in Thätigkeit gebracht. Die näheren Umstände, unter denen bald eine grössere, bald eine kleinere Zahl von ihnen in den Kreis der Thätigkeit gezogen wird, sind in der Athemlehre angegeben.

β) Die Schlingbewegung*). Die automatische Erregungsstelle der Schlingnerven muss ebenfalls im verlängerten Mark gesucht werden; von ihr sind abhängig mm. stylohyoidei, styloglossi, stylopharyngei, und constrictores faucium supremi et medii.

Die Schlingbewegung tritt ebenfalls noch nach Wegnahme des kleinen und grossen Gehirns ein, selbst wenn durch Bestreichen des Gaumens keine Reflexbewegung mehr erzielt werden kann. — Das Genauere bei der Verdauungslehre.

Die auf die Seelenerscheinungen sich beziehenden Mittheilungen sind an das Ende dieses Bandes gelegt.

Die Hirnbewegung wird in der Lehre vom Blutkreislauf abgehandelt werden.

C. *Sympathischer Nerv.*

1. Anatomische Einleitung**). — Die Anatomen definiren den n. sympathicus noch immer verschieden; die einen erklären ihn für einen mächtigen und verwickelten Plexus cerebrospinaler Nerven in dem an verschiedenen Stellen und auf die verschiedene Weise Ganglienkugeln eingelagert sind, die andern setzen hierzu noch die Ergänzung, dass von diesen Ganglienkugeln zahlreiche neue Röhren ausgehen, welche entweder überhaupt oder mindestens kein sogenanntes centrales Ende im Hirn und Rückenmarke finden. Diese letzteren Anatomen sind dann geneigt, nur die neuentspringenden Röhren als sympathische zu bezeichnen. Indem wir unentschieden lassen müssen, welche von beiden Ansichten die berechtigte sei, werden wir hier die Funktionen abhandeln, welche dem n. sympathicus im weitern Wortsinne zukommen.

Die Elementartheile, welche dem nerv. sympathicus zukommen, sind: 1. Röhren von breiterem und feinerem Durchmesser; nach der berühmten Untersuchung von Bidder und Volkmann glaubte man sich berechtigt, die feinen Röhren für die dem Sympathicus spezifisch zukommenden, in ihm entspringenden ansehen zu müssen; neue Untersuchungen, welche die feinen Röhren auch als einen unzweifelhaften Bestandtheil des cerebrospinalen Systems nachweisen, haben diese Meinung sehr erschüttert und dahin eingeschränkt, dass, wenn die breiten Fasern auch ausschliesslich cerebrospinal

*) Wild, Ueber die peristaltische Bewegung des Oesophagus u. s. w. Henle und Pfeufer V. Bd. 76.

**) Kölliker, Mikroskop. Anatomie II. a. p. 522. — R. Wagner, Bericht über die gemeinschaftl. etc. angestellte Beobachtung. Göttinger gelehrte Anzeigen 1851. N. 14. — Stannius, Neurolog. Erfahrungen. Göttinger gelehrte Anzeigen 1851. Nr. 17. p. 235. — Remak, Berliner Monatsberichte Mai 1853 u. Juli 1855. — Küttner (Bidder), de origine nervi sympathici ranarum etc. Dorpat 1856.

sind, die feinen wenigstens nicht ausschliesslich als sympathische angesehen werden können (Stannius, Kölliker). — 2. Ganglienkugeln in sehr beträchtlicher Zahl; diese sollen rings geschlossen ein-, zwei- und zuweilen dreistrahlig sein. Die anatomische Controverse über diesen Punkt hat sich dahin gestaltet, dass einige Anatomen die Gegenwart sämmtlicher Formen behaupten, andere nur die ringsgeschlossenen und einstrahligen, andere nur die geschlossenen und zweistrahligen als vorhanden ansehen. Der bestimmende Grund für die übereinstimmende Annahme astloser Ganglienkörper liegt darin, dass häufig die Zahl der Ganglienkörper, welche zu einem Haufen vereinigt einen Nerven umgeben, viel beträchtlicher ist, als die Zahl der zwischen ihnen verlaufenden Nervenröhren und zugleich die gegenseitige Lagerung beider Elemente eine solche, dass der Verdacht nicht entstehen kann, als ob ein Nervenrohr mehrere Ganglienkugeln durchsetze. — Die Annahme einstrahliger Kugeln gründet sich ausser dem zweifelhaften (?) mikroskopischen Befund solcher Gebilde wesentlich auf die von Bidder und Volkmann entdeckte Thatsache, dass der auf der einen Seite in ein Ganglion eintretetende Nervenstamm viel weniger Röhren enthält, als der austretende; die demnach innerhalb des Ganglions geschehene Faservermehrung glaubt man sich am einfachsten unter der Voraussetzung von Röhrenursprüngen aus den Ganglienkugeln erläutern zu können. Dieser Grund ist aber begreiflich nicht bindend, weil die Röhrenmehrung auch noch durch mancherlei andere, zum Theil durch die Beobachtung bestätigte Begebnisse erläutert werden kann, wie durch Theilung der Röhren, durch die Anwesenheit drei- und mehrstrahligen Ganglienzellen, von denen regelmässig nur ein Fortsatz in den eintretenden, zwei andere dagegen in den austretenden Nerven verlaufen, und endlich auch durch die Gegenwart von zweistrahligen Ganglienkugeln, deren Aeste nach einer Seite hin drängen. Das Vorkommen einstrahliger Ganglienzellen bleibt darum so lange zweifelhaft, als man sie nicht in Präparaten nachgewiesen hat, die mittelst Methoden dargestellt sind, welche die Mängel der bisher angewendeten vermeiden. — Zur exclusiven Annahme der zwei- und mehrstrahligen Ganglienkugeln (neben den geschlossenen) glaubt man sich berechtigt, weil bei den Thieren, deren Ganglienhaufen wegen der Deutlichkeit der Elementartheile sich leicht zergliedern lassen, überwiegend nur zweistrahlige nachgewiesen sind; die einstrahligen, welche man bei andern Thieren sehr häufig findet, glaubt man desshalb als Kunstprodukte ansehen zu müssen, welche aus den zweistrahligen in Folge der schwierigen Präparation entstanden sind. — 3. In einigen Ganglien finden sich Körnerhaufen einer Molekularmasse. — 4. Endlich rechnet man zu den wesentlichen sympathischen Theilen die Remak'schen Fasern. Ob diese beiden und namentlich die letzteren Bestandtheile in der That nervöse seien, muss so lange unentschieden bleiben, bis man dargethan, dass diese Fasern, deren elementarer Bau von dem der Nervenröhren sehr abweicht, die übrigen physiologischen und physikalischen Besonderheiten der Nerven darbieten.

Anordnung der Elementartheile. Die physiologisch wichtigen Fragen, um derentwillen es die Anatomie übernimmt, die Verknüpfung der einzelnen elementaren und zusammengesetzten Stücke des Sympathicus sowohl untereinander, als mit den Hirnrückenmarksmassen aufzuhellen, scheinen folgende zu sein: 1. Welche Organe schicken durch den Sympathicus ihre Nerven? 2. Laufen im Sympathicus Röhren, die in unbedingter Abhängigkeit vom Hirn oder Rückenmark stehen? 3. Kann die Erregung, welche einzelne sympathische Nerven empfangen haben, nach Form, Intensität und Vertheilung auf die Zeit durch ihren Eintritt in ein Ganglion verändert werden? 4. Kann der Nerv im Ganglion einen von andern Erregungen unabhängigen Stoss

empfangen und endlich 5. können die Erregungszustände verschiedener sympathischer Nervenröhren innerhalb der Ganglien zu einer besondern Gegenwirkung gelangen? Indem man voraussetzt, dass gleiche Anordnungen im cerebrospinalen und sympathischen System gleiche Folgen nach sich ziehen, lässt sich wenigstens für einzelnen Fälle zeigen, in wiefern die Anatomie zur Lösung der vorgesteckten Aufgaben beitragen könnte. Nach den vorliegenden Beobachtungen scheint es jedoch, als ob die anatomischen Methoden für sich allein nicht ausgereicht hätten, um die nöthige Aufklärung zu gewähren; wir geben darum das hierher gehörige anatomische Material im physiologischen Theil.

Den Nervenröhren des Grenzstranges und den an ihm oder seinen Zweigen liegenden Ganglienmassen verhalten sich physiologisch auch noch andere Nervenmassen sehr ähnlich. Man zählt sie darum wohl zuweilen ebenfalls zu dem sympathischen System. Hierher gehören vorzugsweise die Aeste des n. vagus in der Herzsubstanz. Die Ganglia submaxillaria, ciliaria u. s. w., die man ebenfalls hierher zu zählen geneigt war, geben dazu mindestens durch ihre physiologischen Eigenschaften keine Berechtigung. Auf diese Nerven werden wir hier nicht eingehen.

Physiologisches Verhalten. — Im Bereiche des sympathischen Nerven wiederholen sich mit Ausnahme der auf die Seele bezüglichen Verhältnisse sämmtliche Erscheinungen des Hirn-Rückenmarkssystems. Insbesondere führt er die drei spezifisch verschieden wirksamen Röhrengattungen; muskelverkürzende oder beruhigende, sensibel-reflektorische, absondernde; zwischen seinen Röhren theilt sich die Erregung mit; die Erregbarkeiten seiner Röhren sind eigenthümliche; seine bewegenden Röhren wirken nach besondern Combinationen und endlich er enthält selbst erregende Stellen.

1. Verbreitungsbezirke der motorischen Röhren. — Die Untersuchung, welche die Ursprünge und Verbreitungsbezirke der motorischen Röhren aufzudecken trachtet, hat mit besondern Schwierigkeiten zu kämpfen. a) Der Sympathicus enthält nicht bloss verkürzende, sondern auch erschlaffende Muskelnerven (Pflüger); indem die ältern Beobachter auf diese Eigenschaft keine Rücksicht nahmen, übersahen sie die wahren Beziehungen einzelner Organe zum Sympathicus. — b) Die sympathischen Nerven sind während des vollkommen gesunden Bestehens eines Thieres nicht immer in einem solchen Zustande, dass sie die ihnen zukommende verkürzende Wirkung einleiten können, Wild. — c) Innerhalb des sympathischen Systems finden sich automatische Einrichtungen, welche unter noch unbekannten Bedingungen selbstständige Bewegungen einleiten; treten demnach Bewegungen nach einem erregenden Einfluss auf, so kann nicht entschieden werden, ob sie von diesem letzteren oder vom automatischen Organ erzeugt worden sind. Diese Fehlerquelle ist um so einflussreicher, als man meist unter Um-

ständen zu operiren gezwungen ist (nach Eröffnung der Bauchhöhle u. s. w.), unter denen wahrscheinlich auch eine verbreitete Erregung der automatischen Organe eintritt. — d) Die auf eine tetanische oder momentane Erregung eines sympathischen Nerven eintretende Muskelverkürzung beginnt weder in einer bestimmten und kurzen Zeit nach der Erregung, noch schliesst sie mit derselben, noch geht sie endlich ihrem Modus parallel, indem selbst auf dauerde Erregung eines Nerven der Muskel sich wechselnd bald verkürzt, bald verlängert. Aus diesen Gründen wird der Schluss auf die Zusammengehörigkeit des Erregers und der Bewegung getrübt. — e) Die Bewegung, welche in einem Abschnitt eines zum n. sympathicus gehörenden Muskelapparates eingeleitet wurde, bleibt innerhalb desselben nicht isolirt, sondern erstreckt sich auf mannigfache Weise durch reflektorische Beziehungen weiter. Hieraus folgt, dass wir nicht mit Sicherheit angeben können, welche Muskeln direkt von diesem oder jenem Nerven abhängig sind. Diese Fehlerquelle wird um so bedeutender, da, wie sich aus d) ergibt, das Criterium im sympathischen System fehlt, durch welches sich meist in cerebrospinalen die reflektorischen von den geradezu erregten unterscheiden. — Gegen diese Uebelstände hat man, obwohl man sich ihrer mehr oder weniger deutlich bewusst war, keine Abhilfe gesucht oder gefunden, mit der einzigen Ausnahme, dass man die Bewegung der Eingeweide dem Auge sichtbar zu machen suchte, ohne dieselben zu entblössen, wodurch allerdings die Grösse der unter c) erwähnten Fehlerquelle geschwächt wird. Mittel, die man zu diesem Behuf anwendet, bestehen: in Anlegen von Darmfisteln; Blosslegung der Baucheingeweide ohne Oeffnung der Peritonäalhöhle u. s. w. — Nächst diesen Mängeln ist aber an der Methodik der bisherigen Arbeiten über unsern Gegenstand noch der zu beklagen, dass man nicht einmal den n. sympathicus nach einer strengen örtlichen Reihenfolge erregt hat, so dass man z. B. zuerst ermittelt hätte, welche Erscheinungen treten ein nach Erregung der Verbindungsäste der Rückenmarksnerven und des Grenzstranges; welche darauf nach Erregung der Aeste des Grenzstrangs, welche nach Erregung der Hauptganglien dieser Aeste u. s. w.

Auf Erregung des Grenzstranges am Halse erfolgt Verkürzung: *α*) des Radialmuskels der Pupille (Petit, Biffi *), Budge **));

*) Valentin II. a. 424.

**) Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie III. Bd. S. 347. — Valentin, Jahresbericht für 1851. p. 173 u. f.

Zusammenziehung des levator palpebrae superioris; Verkürzung der arteriellen Circularmuskeln in der Kopfhaut (Bernard*)), in den Hirnhäuten (Donders**)), in der Haut des Vorderarms und der Hand (Schiff***)). Die Richtigkeit dieser Thatsachen etc. kann nicht angezweifelt werden, da kein Mittel zur Controle versäumt ist.

β) Nach Angabe vieler Autoren soll nach Anspruch des Halstheils vom Sympathicus noch erfolgen 1. beschleunigte Zusammenziehung des Herzens; für das Kaninchen ist diese Behauptung vollkommen irrthümlich, wie ich nach einer unter meinen Augen von Weinmann angestellten gründlichen Untersuchung bekaupten kann. Siehe hierüber Herzbewegungen.

γ) Verkürzung der Speiseröhre, eine Beobachtung, die aber noch sehr zweifelhaft ist.

Rückentheil des Sympathicus.

α) Auf Erregung des Grenzstranges selbst sollen in peristaltische Bewegungen kommen: das Herz, eine Thatsache die noch zu bezweifeln; die Speiseröhre (?), die Verengerer der grossen Arterien (?), die Gallengänge, Valentin; Magen- und Dünndarm, J. Müller und Valentin; Uterus und Blase, Kilian†).

β) Auf Erregung des nerv. splanchnicus in der Brusthöhle des lebenden Kaninchens und der lebenden Katze werden die in peristaltischer Bewegung begriffenen Dünndärme des Kaninchens (nicht aber Dick- und Mastdarm) in den Zustand der Ruhe gebracht (Pflüger††)); der Nerv der kurz vorher abgestorbenen Thiere leitet dagegen peristaltische Bewegungen ein (Kupffer, C. Ludwig).

γ) Auf Erregung der plexus coeliacus und mesaraicus treten peristaltische Bewegungen im Dünndarm ein. Schneidet man beim Kaninchen einen von ihnen aus (nach Eröffnung der Bauchhöhle), so sterben die Thiere nach höchstens 16 Stunden; ihr Dickdarm ist mit breiigem Kothe erfüllt (Budge†††)).

δ) Erregung des plex. lienalis verkleinert den Milzumfang. (Jaschkowitz††††)).

Lenden- und Sacraltheil des Sympathicus.

α) Alle Orte dieser Abtheilung sollen zur peristaltischen Bewegung veranlassen können: den Darmkanal mit Ausnahme des

*) Compt. rend. 1852 Febr.
**) Onderzockingen in het physiologisch Laboratorium etc. VII. Jaar 1854—55 p. 245.
***) Untersuchungen zur Physiologie des Nervensystems 1855. p. 178.
†) Henle und Pfeufer. Neue Folge. 2. Bd. p. 1 u. f.
††) de nervorum splanchnicorum functione. Berlin 1855.
†††) Compt. rend. XLIII. 726.
††††) Virchow's Archiv. 1857.

Magens (Valentin), die Muskeln der Darmgefässe (Schiff, Axmann).

β) Vom mittlern und untern Stück des Grenzstranges der Lenden soll in Verkürzung gebracht werden der Harnleiter.

γ) Vom untern Lenden und obern Sacralstück endlich Harnblase, Mastdarm, Samenleiter, Samenblase, Eileiter, Gebärmutter.

Die Bewegung, welche auf Erregung des vom Halstheil abwärts liegenden Grenzstranges erfolgt, geschieht niemals momentan, im günstigsten Fall erst zwei bis drei Secunden nach dem Beginn derselben, ja häufig erst nach dem Schluss einer länger dauernden Einwirkung der electrischen Schläge.

Um das Abhängigkeitsverhältniss der Gefässwandungen vom Rumpf und den Extremitäten darzustellen, diente die nach der Durchschneidung der betreffenden Nerven eintretende Wärme (Schiff).

2. Verbreitungsbezirke der empfindenden und reflektorischen Nerven. — Die vom n. sympathicus versorgten Regionen sind mit Empfindungen begabt; diese Empfindungen treten im gesunden Leben nicht mit Lebhaftigkeit hervor, sie steigern sich erst zu einer merklichen bis zur Schmerzhaftigkeit gehenden Höhe dann, wenn sehr heftige Bewegungen (Durchfall, Blähungen, Geburtswehen) oder krankhafte Errährungserscheinungen in den Eingeweiden statt haben. — Diese Empfindungen zeichnen sich ferner dadurch aus, dass sie nicht das Gefühl einer genau bestimmten Oertlichkeit erwecken. Aus Krankheitserscheinungen und quetschenden Unterbindungen der Nerven von Säugethieren ergibt sich, dass die Nerven des Peritonäums, der Leber, des plex. coeliacus und der Nieren empfindungerregende Röhren enthalten. Diese Nerven sind zum Theil unzweifelhaft im Splanchnicus enthalten, der (bei der Katze) sich an Empfindlichkeit neben einen Ast des Trigamius stellt (C. Ludwig*)).

Man glaubt sich berechtigt ausser diesen, bewusste Empfindungen erregenden Nervenröhren, auch noch besondere reflektorische, aber nicht Empfindung erzeugende, annehmen zu dürfen. Die Gründe hierfür findet man in der Thatsache, dass öfter Bewegungen, welche den Charakter der reflektorischen tragen, in den Muskeln der Eingeweide zu Stande kommen, ohne dass diese von Empfindungen begleitet werden.

3. Verbeitungsbezirk der Absonderungsnerven. Durch Erregung des Halsgrenstranges kann die Speichelabsonderung in der gland. submaxillaris eingeleitet (C. Ludwig) und die durch den

*) Hafter, Henle und Pfeufer's Zeitschrift. N. F. IV. 322.

nn. facialis und trigeminus eingeleiteten gehemmt werden (Czermak). — Ausserdem findet man es wahrscheinlich, dass das Pancreas, die Nieren und die in das Vas deferens eingelegten Schläuche ihre Säfte unter dem Einfluss der Nerven bilden. Da in diese Drüsen nun in der That aus dem sympathischen Systemen Nerven eintreten, so glaubt man sich berechtigt ihnen jene hypothetische Funktion zuschreiben zu dürfen. Ueber den Werth dieser zum Theil wahrscheinlichen Vermuthungen soll bei den betreffenden Organen eines Weiteren die Rede sein.

4. Abhängigkeit des Sympathicus vom Hirn- und Rükkenmark. Eine sehr grosse Zahl motorischer Röhren des Sympathicus entspringt und empfängt ihre normale Erregung im Rückenmark oder Hirn. Unzweifelhaft gilt dieses a) von den im Halsstrang vorhandenen Fasern für Iris, levator palpebrae und Blutgefässe. Denn diese Theile werden gelähmt, wenn die Verbindung des Halsstranges mit dem Rückenmark unterbrochen ist, und sie gerathen in Tetanus, wenn das Rückenmark von sechsten Hals- bis zum dritten Brustwirbel tetanisch erregt wird (Budge). — b) Etwas ähnliches wird behauptet, für die aus dem Brust- und Lendenstrang hervorgehenden Muskelzweige, der Gefässe sowohl wie der Eingeweide. Schiff behauptet die ersteren und Kilian die letzteren bis in das verlängerte Mark hinein verfolgt zu haben; der letztere Beobachter suchte sich dadurch vor Täuschung zu sichern, dass er vor Erregung des verlängerten Marks, dessen Einfluss auf die Unterleibseingeweide geprüft werden sollte, den Nerv. vagus durchschnitt, da dieser Nerv ähnliches, als der Symp. leistet.

Wie viel sympathische Fasern aber auch normal vom Hirn und Rückenmark erregt werden, keinenfalls ist dort ihr einziger Erregungsherd zu suchen, wie aus der motorischen Unabhängigkeit fast aller vom nervus sympathicus versorgten Theile hervorgeht (siehe automatische Bewegung im Sympath.). Die Frage, welche sich hier erhebt, ist nur die, ob die Fasern zu ermitteln sind, welche von dem einen oder andern Ort aus erregt werden. Zur Erledigung derselben bedienten sich Budge und Waller einer eigenthümlichen Methode, welche später auch von Küttner in Anwendung gebracht wurde. Sie gründet sich auf die bekannte Beobachtung, dsss die Nervenfasern, welche von ihrem normalen Erregungsherden getrennt sind, allmälig in Bindegewebe umgewandelt werden. Durchschneidet man nun die Verbindungsstränge zwischen den Spinalnerven und dem Grenzstrang, so müssen

alle die motorischen Röhren unseres Nerven schwinden, welche während des normalen Lebens vom Rückenmark aus erregt werden. — Budge*) und Schiff**) fanden mit Hilfe dieses Verfahrens, dass alle Primitivfasern, welche durch den Halsstrang hindurch das Rückenmark mit der Iris, dem levator pelpebrae und den Gefässmuskeln des Kopfs in Verbindung setzen, umgewandelt werden. Dieses Resultat ist in Uebereinstimmung mit der Erfahrung, dass eine Durchschneidung des Halsstranges unterhalb des grossen Cervicalganglions eine bleibende Lähmung der obengenannten Muskeln nach sich zieht. — Nach Durchschneidung der Verbindungszweige des 7, 8 und 9 Froschnerven zu den entsprechenden Grenzstrangganglien, oder der Durchschneidung jener Nerven oberhalb des genannten Communikationsastes fand Küttner alle schmalen Fasern jener Nerven und Aeste, die noch mit dem Grenzstrangganglion in Verbindung standen, unversehrt, alle vom Ganglion getrennten aber in Fettumwandlung begriffen, selbst wenn sie noch mit dem Rückenmark communizirten. Daraus würde folgen, dass die schmalen Röhren der bezeichneten Nerven des Frosches ihre normale Erregung vom Ganglion bezögen. Physiologische Gründe lassen es zweifelhaft erscheinen, ob dieses Verhalten auch beim Säugethier eintreten möchte, da hier unzweifelhaft keine unbedingte Unabhängigkeit des sympathischen Reviers vom Rückenmark besteht.

Die besondere Art der Abhängigkeit motorischer Sympathicustheile vom Willen anlangend, so scheint festzustehen, dass kein Theil des n. sympathicus dem Willen unbedingt unterworfen ist; in dem Zustande leidenschaftlicher Erregung ist dagegen die Seele vermögend, einen beträchtlichen Einfluss auf die meisten, wenn nicht alle motorischen Fasern des n. sympathicus zu üben. Dieser Einfluss, welchen die Seele in der Angst dem geschlechtlichen Verlangen u. s. w. gewinnt, unterliegt mehreren Beschränkungen; zu diesen gehört, dass ein und dieselbe Leidenschaft nicht beliebig jeden, sondern immer nur einen und denselben oder höchstens wechselnd zwei Bewegungsapparate in Erregung zu bringen vermag, so dass, wie die Leidenschaften in den Gesichtsmuskeln, sie somit auch in dem Bereich des sympathischen Systems ihren bestimmten Ausdruck finden. Eine andere Besonderheit in der Beziehung zwischen leidenschaftlich erregter Seele und dem sympathischen

*) Budge, Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie III. Bd.
**) Schiff, Archiv für physiolog. Heilkunde. IX. Bd. 145.

Bereich liegt darin, dass die erstere einen Apparat, auf den sie einmal einwirkt, immer nur in seiner Gesammtheit und in seinem Bewegungstypus erregt, so dass die leidenschaftliche Erregung sich weder auf einzelne Stücke zu beschränken, noch auch die gewöhnlich vorkommende Reihenfolge der Bewegungen umzudrehen vermag. An eine Theorie dieser Erscheinungen kann natürlich gar nicht gedacht werden.

4. Mittheilung der Erregung zwischen den einzelnen Bestandtheilen des sympathischen Systems und denjenigen des sympathischen und cerebrospinalen.

Reflexbewegung. Sie erscheint a) zwischen den sensiblen sympathischen und motorischen cerebrospinalen Röhren, wie die Erscheinungen des Erbrechens, der Kothentleerung u. s. w. darthun. Nach Versuchen an Fröschen (Pickford*)), liegt der reflektorische Herd in der medulla oblongata. Ein genaueres Studium der Bahnen ist noch nicht vorgenommen. — b) Als Reflexe von sensiblen cerebrospinalen auf motorische sympathische Röhren deutet man die Bewegung des vas deferens (?) und der Samenbläschen bei der Samenjakulation, die Darmbewegung nach Kitzel am After. Vor Allem gehört hierher jene merkwürdige und praktisch so wichtig gewordene Beziehung der empfindlichen Brustdrüsennerven zu den motorischen des Uterus. Scanzoni**) hatte den schönen Gedanken, durch anhaltendes Saugen an den Brustdrüsen den schwangern Uterus auf reflektorischem Wege in Bewegung zu versetzen, ein Versuch, der so glücklich einschlug, dass man auf denselben eine allgemeine Methode zur Einleitung der künstlichen Frühgeburt gründete. — c) Die Erscheinungen endlich, welche man als reflektorische innerhalb des sympathischen Systems von einem zum andern Rohr auffasst, sind besonders darum noch unklar, weil sie sich nicht nach Belieben herstellen lassen, indem nur zeitweise der Darm, die Geschlechtswerkzeuge u. s. w. sich in sogenannter reflektorischer Disposition finden. Aus diesem Grunde bleibt es in der That zweifelhaft, ob im reinen Gebiete des n. sympathicus Reflexe eintreten; dieser Zweifel wird sehr gestützt durch die anderweitige Betrachtung, dass alle Thatsachen, aus denen man den Reflex ableitet, auch noch andere Deutungen erfahren können. Zu den Beispielen, welche man gewöhnlich als Beweise der Gegenwart reflektorischer Leistungen im Kreise des n. sympathicus vorführt, zählen: dass

*) Roser und Wunderlich's Archiv. II. Bd.

**) Scanzoni, Beiträge zur Geburtskunde I. Würzburg 1853. p. 14. und p. 81. — Späth, Wochenblatt der Wiener Aerzte. 1856. April.

nach einer localen Einwirkung von Erregern auf das peritonäum oder auf die Darmschleimhaut verbreitete Bewegungen in den Darmmuskeln u. s. w. eintreten. Diese Thatsachen würden hier einen dem Reflex analogen Vorgang aber nur dann wahrscheinlich machen, wenn eine Sicherung vorläge, dass die eben erwähnten Erreger ausschliesslich nur solche Nervenröhren getroffen hätten, welche nicht geradezu mit Muskeln in Verbindung stehen; dazu kommt, dass herausgeschnittene Stücke eines Darmes, dessen Nerven untereinander nur noch mittelst der Stämme in Berührung zu sein scheinen, unter günstigen Umständen ebenfalls auf ganz locale Einwirkung in eine succesiv fortschreitende und sich wieder lösende Zusammenziehung verfallen, in eine Bewegung, die alle äusserlichen Charaktere der reflektorischen darbietet.

Mitempfindung, Mitbewegung. Die Thatsachen, welche man unter dieser Aufschrift aus dem Bereich der Wirkungen des n. sympathicus vorführt, sind sehr vager Natur. Nach Leiden der Leber und des Colons, Blähungen u. s. w. treten Schmerzen in der Schulter, bei Gegenwart von Eigeweidewürmern Jucken in der Nase auf u. s. w. Was soll, vorausgesetzt selbst dass ein constanter Zusammenhang zwischen jenen Affektionen und diesen Schmerzen besteht, den Beweis liefern, dass er durch eine unmittelbare Uebertragung der Erregung von diesem zu jenem Nervenrohr geschehe?

5. Verhältniss der Zeiten zwischen der Andauer der Erregerwirkung und der durch sie im sympathischen System veranlassten Muskelzustände. Auf die Erregung eines sympathischen Nerven wird meist verhältnissmässig spät die Zusammenziehung oder Erschlaffung des zugehörigen Muskels folgen, einfach darum, weil die Muskeln des sympathischen Systems in überwiegender Zahl glatte sind, d. h. solche, die sich überhaupt nur sehr allmählig zusammenziehen und wieder verlängern können*). Ueberdiess gestalten sich jedoch auch die Beziehungen der sympathischen Nerven zu den glatten Muskeln noch eigenthümlich und verschiedenartig. — Die Iris und die Gefässmuskeln stehen den Nerven gegenüber in einem Verhältniss, ähnlich dem zwischen Hirnrückenmarksnerven und Rumpfmuskeln; einer momentanen Erregung folgt eine Zuckung und einer tetanischen ein dauernder Krampf; mit einem Wort, die entsprechenden Vorgänge im Nerven und Muskel sind sich rücksichtlich ihrer Dauer geradezu proportional. —

*) Siehe hierüber in der allgemeinen Muskellehre die glatte Muskelfaser.

Für eine andere Reihe von Muskeln, namentlich die des Darms und der Drüsenausführungsgänge, bestehen viel zusammengesetztere Abhängigkeitsverhältnisse, solche nämlich, die ganz an die aus dem Rückenmark reflektirten Bewegungen erinnern. Auf die momentane Erregung der Nerven folgt nämlich erst nach längerer Zeit an einem oder mehreren Orten eine Zusammenziehung, welche die zuerst ergriffenen Stellen verlässt uud zu neuen fortschreitet und von da entweder zu noch neuen über- oder zu den alten zurückgeht. Der lockere zeitliche Zusammenhang zwischen Muskel- und Nervenerregung drückt sich aber am deutlichsten bei der tetanischen Reizung des Nerven aus; diese bringt niemals die Muskeln zur tetanischen Zusammenziehung, sondern im günstigsten Fall zu lebhafterer Bewegung, wie sie auch die momentane Erregung auslöst.

Hält man diese Thatsachen zusammen mit der schon berührten Erfahrung, dass derselbe Nerv je nach den Zuständen des Muskels den thätigen bald beruhigen und den ruhigen anzuregen vermag, bedenkt man ferner, dass der n. vagus ganz dieselbe Beziehung zu den Darmmuskeln besitzt, wie die sympathischen Zweige, so wird man auf eine ganz besondere, jedenfalls sehr indirekte Verknüpfung zwischen Muskel und Nerv schliessen, als deren Mittelglied am Darm vielleicht die dort von Meissner aufgefundenen Ganglienhaufen anzusehen wären.

6. Verkettung der Einzelbewegungen zu einer zusammengehörigen Reihenfolge von Bewegungen. Wenn in einer der grösseren, funktionell zueinander gehörigen sympathischen Abtheilungen während eines höhern Erregbarkeitsgrades derselben eine Bewegung eingeleitet wird, so beschränkt sich meistentheils die Zusammenziehung nicht auf die Oertlichkeit, in welcher sie zuerst auftrat. Dieses Umsichgreifen der Zusammenziehung geschieht nach zwei verschiedenen Weisen, und zwar entweder wie im Harn-, im Eileiter, dem Fruchthalter und auch häufig im Darm nach dem sogenannten peristaltischen oder wie gewöhnlich im Darm nach dem sogenannten pendulirenden Modus. Im ersteren der beiden verbreitet sich nach einer Richtung hin die Verkürzung von der ursprünglich ergriffenen auf unmittelbar angrenzende Stellen, während sie, nachdem dieses geschehen, sich von den ursprünglich ergriffenen zurückzieht. Diesem gemäss geräth auf Veranlassung einer örtlichen Erregung die gesammte Muskelsubstanz einer der angegebenen Canäle nach einer zeitlichen Reihenfolge in Zusammenziehung, in der Art, dass gleichzeitig jedesmal nur ein kleiner begrenzter Abschnitt sich in dem bezeichneten Zustand befindet. Die Richtung,

in welcher diese Bewegung fortschreitet, geht immer von oben nach unten, also vom Magen, Nieren, Eiterstöcken nach dem After, der Blase, der Scheide. — Im pendelnden Modus schreitet die Verkürzung nicht continuirlich, sondern sprungweise fort, so dass die der Zeit nach aufeinander folgenden Zusammenziehungen örtlich nicht unmittelbar aneinander grenzen, sondern an Stellen vor sich gehen, welche durch ruhige Stücke von einander getrennt sind. Gewöhnlich kehrt im pendelnden Modus jede Einzelbewegung rhythmisch, d. h. nach einiger Zeit wieder, so dass das ruhige zwischen den zusammengezogenen Stellen liegende Stück wie ein Pendel bald nach dieser und bald nach jener Seite geführt wird.

7. Automatische Erregung. Die bewegungserzeugenden Nerven des sympathischen Systems gerathen in Erregung selbst dann noch, wenn keines der Mittel, welche wir als Erreger kennen lernten, nachweislich auf sie einwirkt, und sogar noch dann, wenn sie vom Hirn und Rückenmark getrennt sind. Die durch diese automatische Erregung veranlassten Bewegungen sind nicht allein rhythmische, sondern auch regelmässig verkettete. Das Vermögen, automatische Bewegungen einzuleiten, ist innerhalb der nervösen Apparate nicht zu jeder Zeit, sondern nur mit Unterbrechungen vorhanden. Diese Pause, meist noch besonders bemerkenswerth, weil während derselben vom Nerven aus durch die bekannten Erreger keine Bewegungen eingeleitet werden können, ist an den verschiedenen Organen von sehr wechselnder Dauer. Am Darm scheint nur einigemal des Tages die Zeit automatischer Erregung einzutreten, Schwarzenberg*); während des Bestehens dieser automatischen Erregungsmethode erfolgt jedoch nicht nur eine, sondern in kürzeren zwischen gelegten Pausen mehrere Bewegungen des Darms. Am Ureter kehren dagegen die automatischen Bewegungen, ähnlich der Herzbewegung, nach kurzen Pausen regelmässig wieder und man bemerkt in gleicher Zeit eine grössere Zahl, wenn die Menge des abgesonderten Urines steigt. Wie sich die Tuben und der Uterus verhalten, ist unbekannt.

Die veranlassenden Momente dieser Erregung können, ganz allgemein betrachtet, ebensowohl darin bestehen, dass in Folge bestimmt angeordneter Ernährungsverhältnisse die Erregbarkeit der Nerven einem periodischen Steigen und Sinken unterworfen ist, so dass in dem eintretenden Maximum der Erregbarkeit nun schon sehr schwache, unserer Aufmerksamkeit entgehende Erreger die Veranlassung zur Auslösung der Kräfte geben; oder es können bei gleichbleibender aber spezifischer, andern Nerven nicht eigenthümlicher Erregbarkeit zu gewissen Zeiten im Blutkreislauf sich ganz besondere Er-

*) Henle u. Pfeufer. VII. Bd.

reger bilden; oder endlich es können durch den Stoffwechsel in dem Nerven selbst Veränderungen eintreten, welche unmittelbar die Zustände der Erregung darstellen u. s. w.*). Zudem können diese erregenden Momente sich auf dem ganzen Verlauf des Nerven oder nur in irgend welchen Abschnitten desselben entwickeln. Diese letztere Meinung erfreut sich gegenwärtig zahlreicher Anhänger, welche als den besondern Sitz der sich bildenden Erreger, die im sympathischen System enthaltenen Ganglienkugeln ansehen.

Zu der Annahme, dass die Ganglien die Erreger seien, fügt man gewöhnlich noch eine weitere, die nämlich, dass eine grössere Zahl von zusammengehäuften Ganglienkugeln jedesmal in einer innigen Beziehung zu einander stehen und dass diese zusammengeordnete Nervenmasse auch jedesmal einen zusammengehörigen Muskelapparat beherrsche. Diese hypothetischen Organe nennt man die Centralorgane der Eingeweide. — Da sich die automatischen Bewegungen der Harn-, Geschlechts- und Verdauungswerkzeuge unabhängig von einander gestalten, so schreibt man endlich jeder Organgruppe ein Centralorgan zu.

Die Einpflanzung von Bedingungen zur Erzeugung von geordneten Bewegungen im sympathischen System ist für die Lebensvorgänge insofern von Wichtigkeit, als die von ihnen angeregten Organe bis zu einem gewissen Grade unabhängig vom Hirn und Rückenmark werden. Die Ueberzeugung von der Wahrheit dieser Behauptung ist uns durch eine sehr bemerkenswerthe Versuchsreihe, welche Bidder**) anstellte, zu Theil geworden. Er zerstörte bei einigen Fröschen das Hirn, bei anderen das Rückenmark, bei noch andern das verlängerte Mark oder endlich gleichzeitig Hirn und Rückenmark; nach dieser Operation gingen die Akte der Verdauung und namentlich die Weiterschaffung der Darmkontenta, des Harnes u. s. w. noch längere Zeit ungestört vor sich.

Die Kürze der vorstehenden Darstellung des sympathischen Systems findet ihren Grund weder darin, dass eine zu geringe Menge von Versuchen über den n. sympathicus angestellt ist, noch auch darin, dass man wenige Meinungen über die Funktionen des Sympathicus ausgesprochen hat; im Gegentheil, die Literatur über den n. sympathicus gibt an Stattlichkeit keiner andern nach; so dass, wollte man auch noch so kurz ihren wesentlichen Inhalt wiedergeben, man leicht einen Band füllen könnte. Aber, was würde man erreicht haben? Das Lehrbuch hat mehr dahin zu streben, die gröbsten Irrthümer zu meiden, als alle veröffentlichten Thatsachen vorzulegen.

*) Siehe hierüber auch die Beobachtungen von Schiff, wonach Compression der Aorta die automatischen Organe des Unterleibs erregen soll. — Froriep, Tagesberichte 1851. Nr 327.

**) Müller's Archiv 1844. Erfahrungen über die funktionelle Selbstständigkeit u. s. w. Aehnliche Beobachtungen an Schildkröten, Fröschen und Tauben haben Brown-Séquard, Compt. rend. Tom. XXX. (Gazette medicale 1851, Nr. 26 u. 30) und Schiff angestellt, die aber nichts Neues über diesen Gegenstand lehren.

D. Der Gesichtssinn.

Die Grundbedingung dieses Sinnes ist gegeben durch die Gegenwart des nervus opticus, der seine Erregungszustände als Licht zur Empfindung bringt; unser Sinn dehnt aber seine Wirksamkeit über die engen Grenzen der Lichtempfindung weit aus, denn er unterscheidet auch, ob derjenige seiner Erreger, welchen die Physiker Aetherwellen nennen, von Punkten oder Flächen ausgeht, und in welcher Richtung und Entfernung vom Auge diese leuchtenden Orte gelegen sind u. s. w. Diese weiteren Funktionen sind eine Folge der brechenden und spiegelnden Flächen und Medien und der Beweglichkeit des Gesammtauges oder einzelner seiner Theile gegeneinander. —

Diesen Thatsachen gemäss wird unsere Darstellung zuerst die Leistungen der Muskeln, des dioptrisch katoptrischen Apparates und der Nerven für sich und dann diejenigen zu betrachten haben, die aus den gegenseitigen Beziehungen jener Organbestandtheile fliessen.

Aeussere Bewegungswerkzeuge des Auges.

Die Bewegungen des Auges, die durch den äusseren Muskelapparat desselben ausgeführt werden können, sind entweder Bewegungen des Augapfels im Ganzen, und zwar sowohl Drehungen um einen festen Mittelpunkt, als Ortsveränderungen des Augapfels mit Verschiebung des Mittelpunktes, oder aber Bewegungen einzelner Theile des Augapfels gegeneinander, Formveränderungen desselben.

Die Bewegungen des Auges im Ganzen sind gleichzeitig als Dreh- und Ortsbewegungen möglich, weil die an dem hintern Umfang des Augapfels liegenden Massen für sich eine hinreichende Steifigkeit besitzen und an den Augapfel locker genug angeheftet sind, um bei bestimmten Arten des Zugs, die auf den Augapfel wirken, unverrückt zu bleiben und zugleich als Widerlage für die Sclerotica zu dienen, und andererseits doch nicht steif genug, um nicht bei anderen Verhältnissen der auf das Auge wirkenden Züge verrückt zu werden. Die Eigenthümlichkeit der Gesammtbewegung des Auges lässt sich also dahin ausdrücken, dass das Auge in einer Gelenkpfanne gehe, welche selbst verschiebbar ist. —

1. Drehbewegungen*).

a) Einleitende Bemerkungen über Kugeldrehungen. Wenn von allen Theilen einer Kugel nur der Mittelpunkt im Raume

*) A. Fick, Mediz. Physik. Braunschweig 1856. 1. Bd, p. 58. — G. Meissner, die Bewegungen d. Auges. Berlin 1856. (Separatabdruck a. Graefe's Arch. f. Opthalmologie. — Tourtual, Beobachtungen an einem Auge mit einer seltenen Difformität. — Müller's Archiv. 1846. — Volkmann, Artikel Sehen in Wagner's Handwörterbuch III. a. — Donder's Beitrag zur

unverrücklich feststeht, so können alle um denselben gelegenen Punkte noch Drehungen nach beliebig vielen Richtungen erfahren. Eine jede dieser Drehungen erfolgt um eine Achse, d. h. um einen Durchmesser der Kugel, der während der Dauer der Drehung im Raume feststeht. Solcher Achsen kann es darum so viele geben, als die Kugel Durchmesser besitzt, d. h. unendlich viele; allen diesen Achsen ist aber ein Punkt, nämlich der Mittelpunkt der Kugel gemeinsam und darum drückt man sich gewöhnlich auch dahin aus, eine Kugel sei um ihren Mittelpunkt drehbar.

Eine Drehung, durch welche ein Punkt der Oberfläche um ein merkliches aus seiner alten Lage entfernt wird, kann nun entweder so geschehen, dass während der ganzen Drehungsdauer ein und dieselbe Achse feststeht, oder auch so, dass während der Drehung die Achsen in einer stetigen Folge wechseln, indem sogleich ein anderer Durchmesser der Kugel sich feststellt, nachdem die Kugeloberfläche sich um ein Unmerkliches aus ihrer frühern Lage entfernt hat. Im ersten Fall nennt man die Achsen dauernde, im zweiten Fall augenblickliche, da der letzte Fall am Auge nicht in Betracht gezogen zu werden braucht, so werden wir uns vorzugsweise nur mit der Drehung um dauernde Achsen beschäftigen.

Die verschiedenen Drehungen, welche um eine und dieselbe Achse einer Kugel geschehen könne, unterscheiden sich, insofern wir von der zu ihnen verwendeten Zeit absehen, von einander, durch ihren Umfang und durch die Richtung, in der die Drehung erfolgt. Und ebenso kann ein und dieselbe Ortsveränderung, welche ein und derselbe Punkt nach Vollendung einer Drehung erfahren hat, mit einer unendlich verschiedenen Ortsveränderung aller übrigen Oberflächenpunkte verknüpft sein. Es müssen also Mittel aufgesucht werden, um der Richtung und die Grösse eine Drehung zu bestimmen, und um festzustellen, welche Lage alle Punkte der Kugel im Raum nach einer vollendeten Drehung einnehmen.

Um zu einem allgemeinen Ausdruck für die Richtung der Drehung zu gelangen, denken wir uns der Achse, um welche die Drehung geschieht, so gegenübergestellt, wie dem Zifferblatt einer Uhr; diejenige Richtung der Kugeldrehung (von links nach rechts), welche mit derjenigen der Zeiger zusammenfallen, betrachten wir als um die angesehene Achse geschehen. Aus dieser Definition

Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges. Holländ. Beiträge I. 105. — Ruete, Lehrbuch d. Opthalmologie. Göttingen 1845. p. 8. — Bernh. Gudden quæstiones de motu oculi humani. Diss. inaugur. Hall. 1848.

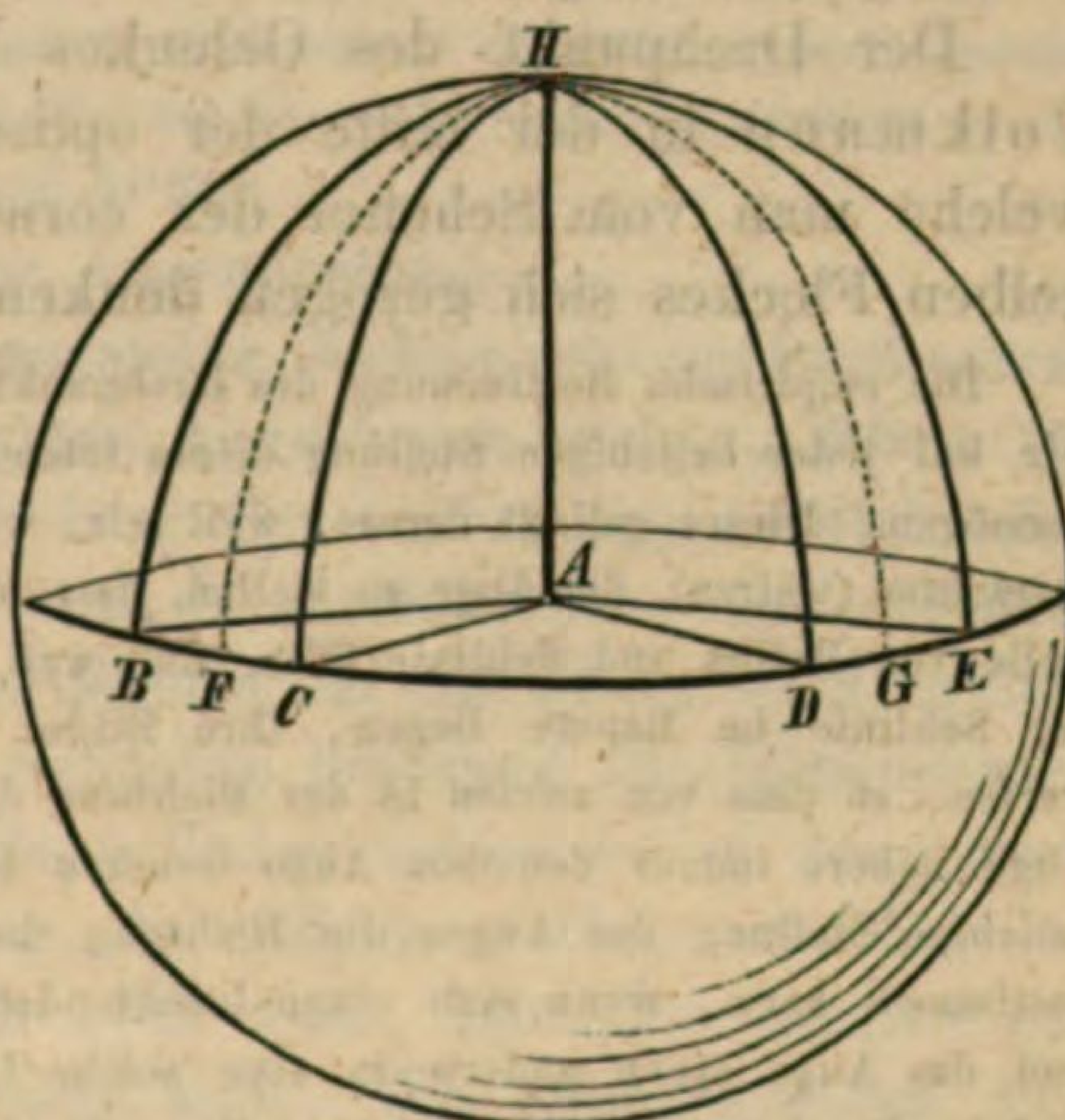
ergibt sich, dass wir eine jede als Durchmesser wirkende Achse in zwei Halbachsen zerfällen müssen, deren Grenze im Kugelmittelpunkt liegt. Denn der grösste Kreis der Kugel, auf welcher jener Durchmesser senkrecht steht, wird sich um die eine Hälfte der Achse gerade entgegensetzt, wie um die andere Hälfte drehen. Nennen wir also eine der Halsachsen die positive, so wird die andre damit zur negativen.

Um den beiden andern Anforderungen Genüge leisten zu können, ziehen wir durch den Kugelmittelpunkt zwei Systeme von Linien. Jedes derselben besteht aus drei in diesem Punkt aufeinander senkrechten Durchmessern, welche also nach den drei Dimensionen des Raumes gerichtet sind; mit andern Worten zwei rechtwinklichte Coordinatensysteme. Eines derselben denken wir uns mit der Kugel beweglich und das andere im Raume absolut feststehend. — Nennen wir nun diejenige Stellung der Kugel die ursprüngliche, in welcher die beiden Coordinatensysteme zusammenfallen, so werden wir, wenn darauf eine Drehung erfolgt ist, die Grösse derselben aus den Winkeln bemessen können, welche die Achsen des beweglichen Coordinatensystems mit denjenigen des festen am Kugelmittelpunkt einschliessen. — Berücksichtigen wir vorerst nur die Richtung und die Grösse der Abweichung, welche nach einer vollendeten Drehung eine der beweglichen Achsen angenommen hat, so ist damit immer noch unbestimmt gelassen, welche Stellung den beiden andern beweglichen Achsen zukommt; denn es können die beiden andern beweglichen Achsen bei ein und derselben Abweichung der dritten Achse noch unzählig viele Stellungen einnehmen; dieses leuchtet sogleich ein, wenn man bedenkt, dass die Kugel, nachdem sie bis zur verlangten Stellung der dritten Achse gedreht ist, noch um diese letztere, indem sie feststehend gedacht wird, jede beliebige Umwälzung erfahren kann. Will man also die Lage nicht nur eines, sondern aller Punkte der Kugeloberfläche bestimmt haben, so muss neben der Lagen der dritten noch diejenige einer der beiden andern beweglichen Coordinatenachsen zu den festen angegeben werden. Ist dieses geschehen, so ist damit natürlich auch der Grad der Umdrehung des auf die dritte Achse senkrecht stehenden grössten Kreises bekannt, und damit jene so eben erörterte Möglichkeit ausgeschlossen.

Nach den gegebenen Mittheilungen genügt für unsre Zwecke noch die Antwort auf zwei andere Fragen. Die erste hiervon lautet, wie soll man (Fig. 37), wenn die Lagen zweier Punkte auf der Kugeloberfläche vor (*B* und *D*) und nach (*C* und *E*) der Drehung gegeben sind, die Achse finden, um welche die Drehung geschehen

ist. Nach Euler gelingt dieses durch ein sehr einfaches Construktionsverfahren. Man verbinde nämlich jede der beiden verschiedenen Lagen der zu einander gehörigen Punkte *B* mit *C* und *D* mit *E* durch einen grössten Kreis, halbire jeden der Kreisbogen zwischen den beiden zu einander gehörigen Punkten und errichte senkrecht auf denselben die grössten Kreise *F H* und *G H*. Der Schnittpunkt beider Kreise ist auch derjenige, an welchem die Drehungsachse die Kugeloberfläche berührt. Da ausserdem der Kugelmittelpunkt in die Achse fällt, so ist *A H* die gesuchte Achse. — Die zweite Frage verlangt zu wissen, um welche Achse wird eine Kugel gedreht, wenn an derselben zwei Kräfte von bekannter Grösse an bekannten Achsen angreifen. Der Fall, in dem die Kräfte an entgegengesetzten Halbachsen in entgegengesetzter Richtung drehen, bedarf keiner Erörterung, da man dann nur den Unterschied der beiden Kräfte, als wirksam in der Richtung der grössern hinzusetzen braucht, bei einer jeden andern Anordnung der Kräfte schneide man auf jeder Halbachse ein der angreifenden Kraft proportionales Längenstück der Achse ab, bilde mit Hilfe dieser beiden Stücke und des am Mittelpunkt eingeschlossenen Winkels einen Parallelogramm und ziehe die Diagonale desselben; die Richtung dieser Linie wird die gesuchte Achse und die Länge derselben die Kraft, mit der die Drehung geschieht, angeben.

Fig. 37.



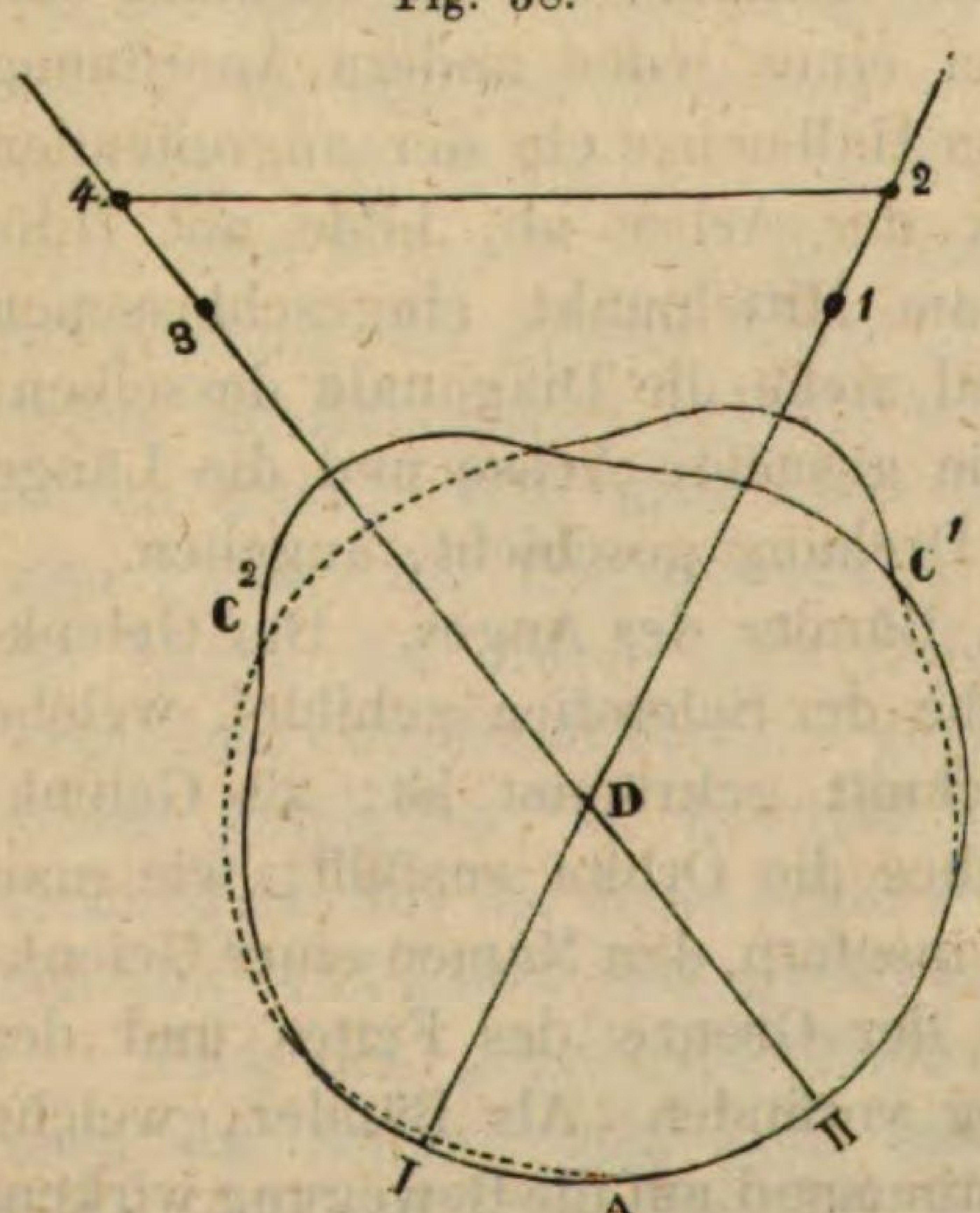
b) Gelenkkopf, Gelenkgrube, Bänder des Auges. Der Gelenkkopf wird durch die hintere Fläche der Sclerotica gebildet, welche annähernd nach einem Kugelabschnitt gekrümmt ist; als Gelenkgrube dient das Fettpolster, welches die Orbita ausfüllt; wie man sieht, verdient dieses Polster nur insofern den Namen einer Gelenkgrube, als sich in der That an der Grenze des Fettes und der Sclerotica eine freiere Verbindung vorfindet. Als Bänder, welche theils hemmend, theils richtungsbestimmend auf die Bewegung wirken, sind anzuführen, der federartig gestellte n. opticus, die Conjunctivafalte, die sich aufrollenden Augenmuskeln, einige von der

Scleroticafläche zum umliegenden Fettpolster gehende Gefässe und Bindegewebsstränge. Eine genauere Angabe der Wirkungen dieser Gebilde, und namentlich den Werth der Hemmung, den sie den Bewegungen entgegenstellen, lässt sich nach vorliegenden Untersuchungen nicht geben.

Der Drehpunkt des Gelenkes liegt nach Bestimmungen von Volkmann in der Mitte der optischen Achse, d. h. einer Linie, welche man vom Scheitel der cornea gegen den Mittelpunkt des gelben Fleckes sich gezogen denken muss.

Die empirische Bestimmung des Drehpunkts am lebenden Auge wird möglich, weil wir bei jeder beliebigen Stellung dieses letztern die Richtung der Sehlinie anzugeben vermögen. Dieses gelingt darum, weil wir, wenn wir einen leuchtenden Punkt scharf betrachten (visiren), das Auge so stellen, dass das Bild des Punktes auf die Berührungsstelle von Retina und Sehlinie fällt, und weil alle Objecte, die auf der Verlängerung der Sehlinie im Raume liegen, ihre Bilder sämmtlich auf diese Berührungsstelle werfen, so dass von zweien in der Richtung der Sehlinie liegenden Punkten der dem Auge nähere immer den dem Auge ferneren deckt. Daraus folgt, dass man für jede beliebige Stellung des Auges die Richtung der in dem Raume verlängerten Sehlinie bestimmen kann, wenn man einen leuchtenden Punkt scharf visirt und zwischen ihn uud das Auge einen andern in eine solche Lage bringt, in welcher er den erstern deckt. Bestimmt man bei festgestelltem Kopf in mehr als zwei von einander abweichenden Augenstellungen die Richtungen der Sehlinie und verlängert dann sämmtliche Linien nach ihrer convergirenden Richtung, so schneiden sie sich in einem Punkte, woraus ohne Weiteres folgt, dass die Visirlinie ein Radius sei, der um diesen Punkt bei den verschiedenen Augenstellungen gedreht wird. — Aus diesen Angaben folgt für die Bestimmung des Drehpunkts in jeder Ebene am lebenden Auge nun sogleich folgendes Verfahren, welches in Fig. 38 versinnlicht ist. Man bringe vor das Auge, der höchsten Erhabenheit der Cornea gegenüber, eine horizontale oder senkrechte Tafel und visire unter der entsprechenden Augenstellung nach einem leuchtenden Punkte 2 (z. B. einer Nadelspitze), führe darauf einen zweiten leuchtenden Punkt 1 vor den ersten, bis er diesen genau deckt; dasselbe vollführe man bei festgestelltem Kopfe, aber einer andern Augenstellung, mit den Punkten 4, 3 und messe hierauf den Abstand des Punktes 3 oder 1 von der höchsten Erhabenheit der Cornea. — Da 1, 2 und 3, 4 je zwei Punkte auf der Sehachse für die verschiedenen Lagen des Auges darstellen, so kann man sogleich die Linien 2, 1, *I* und 3, 4, *II* ziehen, welche sich in *D* dem Drehungspunkte des Auges schneiden. Kennt man die Ent-

Fig. 38.



fernung, in welcher sich 3 vom Auge befand, so ist damit auch der Abstand *D* von der vordern Hornhautfläche gegeben.

Die Mittel, welche bei den bis jetzt unternommenen Messungen von Volkmann, Burow, Valentin in Anwendung gebracht sind, nähern sich jedoch nur sehr entfernt der möglichen Genauigkeit an; indess fand man übereinstimmend, dass der Drehpunkt 11,0 bis 14,1 M.M. von der vordern Hornhautfläche entfernt liege, woraus der im Text gegebene Schluss über die Lage des Drehpunktes allerdings scheint abgeleitet werden zu dürfen, da die halbe Länge der Sehachse (die hintere Augenwand mit gerechnet) bekanntlich 11,9 M.M. im Mittel beträgt.

c) Eigenthümlichkeiten der Augendrehung.

Die rechtwinklichten Liniensysteme, welche wir zur Bestimmung der durch die Drehung erzeugten Augenlagen ziehen, fallen von rechts nach links in die Verbindung der beiden Augenmittelpunkte (Grundlinie), von hinten nach vorn in die Sehachse, und von oben nach unten in eine Linie, die senkrecht auf der Ebene steht, welche durch die Grundlinie und die Sehachse bestimmt ist (Höhenachse). Den Schnittpunkt dieser drei Doppellinien setzen wir in den Augenmittelpunkt; zur Primärstellung des Auges wählen wir die, bei welcher die Sehachsen gerade nach vorn, einander parallel und um 45° unter den Horizont geneigt sind. Wir erinnern daran, dass die Primärstellung noch dadurch charakterisirt ist, dass die Coordinatenachsen des im Raume festen und des mit dem Auge beweglichen Systems zusammenfallen.

Da das Auge rücksichtlich seiner Bewegungen als Kugel angesehen werden darf, so konnte wohl auch von vorneherein erwartet werden, dass es im lebenden Zustand um alle die Halbmesser gedreht würde, welche als Drehungsachsen möglich sind innerhalb der Beweglichkeitsgrenzen, wie sie durch die Hemmungsorgane gesteckt werden. Diese Voraussetzung, schon durch Donders erschüttert, ist durch eine ausgezeichnete Arbeit von Meissner als eine vollkommen irrige erwiesen; an ihre Stelle setzte er aber folgendes: Die Wahl der Achsen innerhalb der Grenzen möglicher Beweglichkeit ist Beschränkungen unterworfen, weil 1. die Ueberführung der einen in die andere Augenlage geschehen muss um eine während der Drehungsdauer constante Achse, nie aber geschehen darf um eine unendliche Zahl augenblicklicher Achsen, die während der Drehung in gesetzlichem Wechsel einander ablösten. Diese letztere Anordnung würde nämlich ein unendlich verwickeltes Ineinandergreifen der Nerven und Muskeln erfordert haben. Eine 2. Beschränkung liegt darin, dass die in die Augen gehenden Nerven und Gefässe keine merkliche Zerrung durch Verdrehung erfahren sollen, und endlich 3. kann nur unter Voraussetzung einer bestimmten

gegenseitigen Lage beider Sehhäute der zu erfüllenden Bedingung genügt werden, dass wir einen mit beiden Augen zugleich betrachteten Gegenstand einfach sehen. Als Achsen, um welche die Drehung wirklich erfolgt, ergaben sich Meissner folgende: Jede Bewegung des Auges aus der Primärstellung heraus in eine beliebige andere erfolgt um eine Achse, welche gelegen ist in der Ebene, die bestimmt wird durch Grundlinie und Höhenachse des mit dem Auge beweglichen Coordinatensystems*). Für alle Drehungen aus der Primärstellung steht die Sehachse senkrecht auf der Drehachse, und es werden sich alle grössten Kreise, die bei den Drehungen um alle diese Achsen entstehen, in ein und demselben Punkte, dem vordern Sehachsenende, schneiden. Demnach geschehen alle Auf- und Abwärtsneigungen des Auges bei parallelen Sehachsen um die Grundlinie, und alle Convergenzen beider Augen, bei einer Neigung der Sehachse um 45^0 unter dem Horizont, um die Höhenachse. Diese Stellungen, welche das Auge bei der Drehung um die bewegliche Höhen- oder die Grundachse gewinnt (reine Convergenzen oder Neigungen) oder auch Sekundärstellungen, zeichnen sich vor allen übrigen dadurch aus, dass die grössten Kreise, in welchen sich beiderseits Retina und die Ebenen der Höhen-Sehachse einander schneiden, d. h. die vertikalen Trennungslinien beider Netzhäute, parallel zu einander stehen. — Hat sich das Auge um jede andere Achse gedreht, die in der durch die Grund- und Höhenachsen bestimmten Ebene gelegen ist, so hat es eine Tertiärstellung, d. h. eine aus Neigung und Convergenz zusammengesetzte angenommen. In allen diesen Stellungen fällt eine im Raume absolut senkrecht auf der Sehachse stehende Linie, wenn sie auf die Retina projizirt wird, nicht mehr mit der vertikalen Trennungslinie zusammen, sondern schliesst am Mittelpunkt der Retina mit dieser einen Winkel ein. Hierdurch gewinnt es den Anschein, als ob das Auge um die Sehachse gedreht worden sei, was aber in der That nicht geschehen ist.

Ausser um die Drehungsachsen, die in die durch die beweglichen Höhen- und die Grundachsen bestimmten Ebene fallen, kann das Auge noch um unzählige andere gedreht werden, welche mit der Sehachse einen Winkel bilden, der kleiner als ein rechter ist; erfahrungsgemäss scheinen jedoch die Achsen ausgeschlossen zu sein, deren Winkel mit der Sehachse beträchtlich von einem rechten abweicht, und namentlich wird um die Sehachse selbst niemals die Drehung ausgeführt. Wie nun aber die zuletzt erwähnten

*) Oder durch die entsprechenden Achsen der im Raum festen Coordinaten, da in der Primärstellung beide zusammenfallen.

Achsen gewählt sein mögen, immer wird die Bedingung erfüllt, dass bei ein und derselben Stellung der Sehachse auch alle übrigen Augentheile dieselbe Lage im festen Coordinatensystem einnehmen, aus welcher vorhergehenden Stellung das Auge auch in jene Lage gekommen ist. Die vertikale Trennungslinie der Retina wird also in einer beliebigen Tertiärstellung dieselbe Neigung zur festen Höhenachse haben, gleichgiltig ob das Auge aus einer Primär-, einer Sekundär- oder einer andern Tertiärstellung in die neue Lage gebracht wurde.

Das Hilfsmittel, welches Meissner gebrauchte um die Lage des Auges zu bestimmen, bestand in der Ermittlung der jeweiligen Lage der beweglichen Sehachse und der vertikalen Trennungslinie. Wie die Angaben über die Lage der erstern Achse zu finden sind, ist schon erwähnt; die Methode die andere Linie zu bestimmen, werden wir erst später bei der Lehre vom Horopter verdeutlichen können.

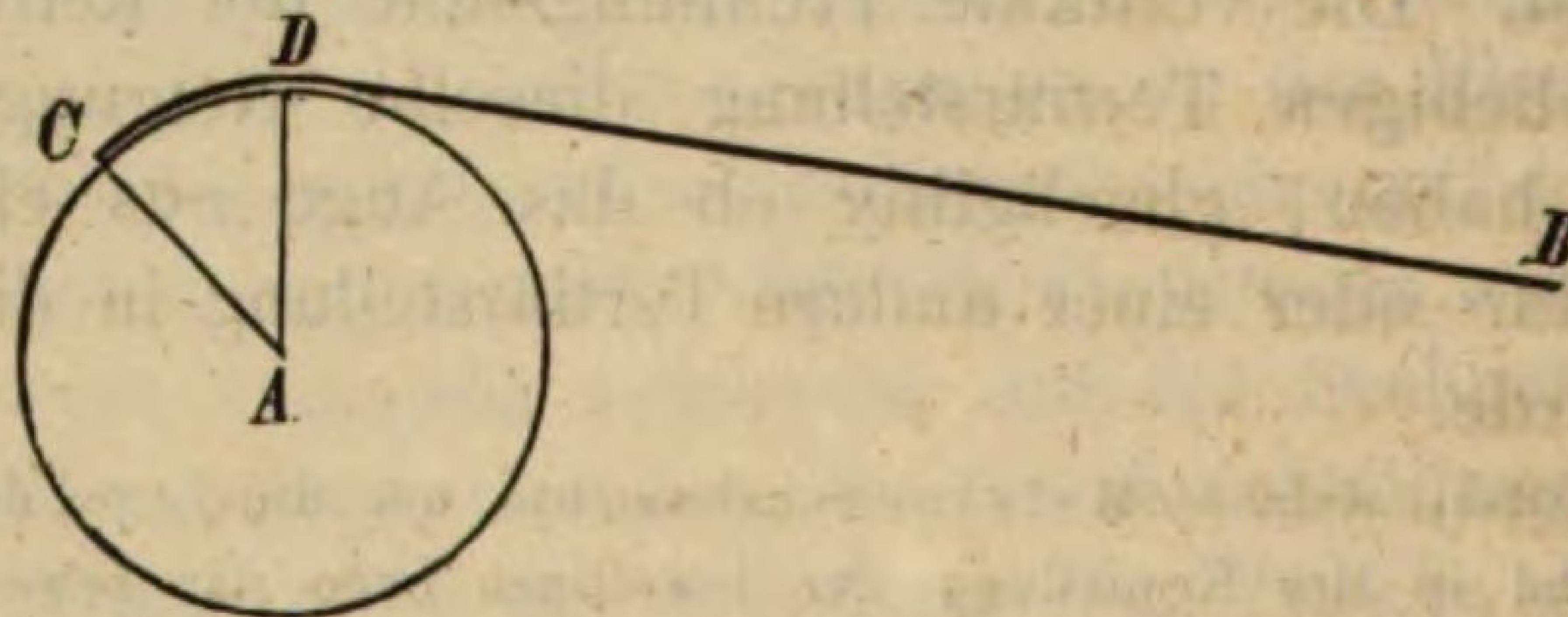
d) Drehende Wirkungen der Augenmuskeln *). Insofern dem Augenmittelpunkt eine im Raum unveränderte Lage zukommt, so können die am Auge wirksamen Muskelzüge, wenn sie sich nicht gegenseitig aufheben, nur Drehbewegungen erzielen.

Indem wir den Leistungen der Augenmuskeln nachgehen, werden wir zuerst das Verfahren angeben, durch welches die drehenden Wirkungen eines jeden Augenmuskels für sich bestimmt werden können. — Zu diesem Ende suchen wir zuerst die Richtung und Intensität des Gesammtzuges auf, welcher resultirt aus den Zügen aller einzelnen Primitivbündel des betrachteten Muskels. Rücksichtlich der Richtung dieses Gesammtzuges ergibt sich sogleich, dass sie zusammenfallen muss mit der Richtung eines jeden einzelnen Elementarbündels, denn es laufen sämmtliche Bündel eines Augenmuskels einander parallel; daraus folgt auch, dass die Resultirende in der Mitte des Muskels gelegen sein muss, vorausgesetzt dass sich alle Muskelelemente gleichkräftig zusammenziehen; endlich wird auch die Stärke des Gesammtzuges gleich der Summe aller Einzelzüge sein. Wäre damit die Resultirende des Muskels aufgefunden, so würde die Achse aufzusuchen sein, um welche sie das Auge drehte. Dieses geschieht dadurch, dass wir die Zugebene der Resultirenden, d. h. die Ebene, in welcher sie ziehend auf das Auge wirkt, aufsuchen; sie wird ohne Mühe gefunden, da sie (Fig. 39) bestimmt ist, durch den Drehpunkt des Auges A und die Ansatzpunkte der Resultirenden B und C; denn wenn sich die Resultirende bis auf die

*) Ad. Fick. Henle und Pfeufer's Zeitschrift. N. F. IV. Bd. 101. — Derselbe ibid. V. Bd. 331. — Meissner l. c. — Gräfe, Archiv für Opthalmologie. I. Bd. 1.

Länge von BD zusammenzieht, so wird sich offenbar C in dem Umfange des gezeichneten Kreises, welcher einem Augendurchschnitt entspricht, herum bewegen. Also wird die Drehungsachse senkrecht gegen

Fig. 39.

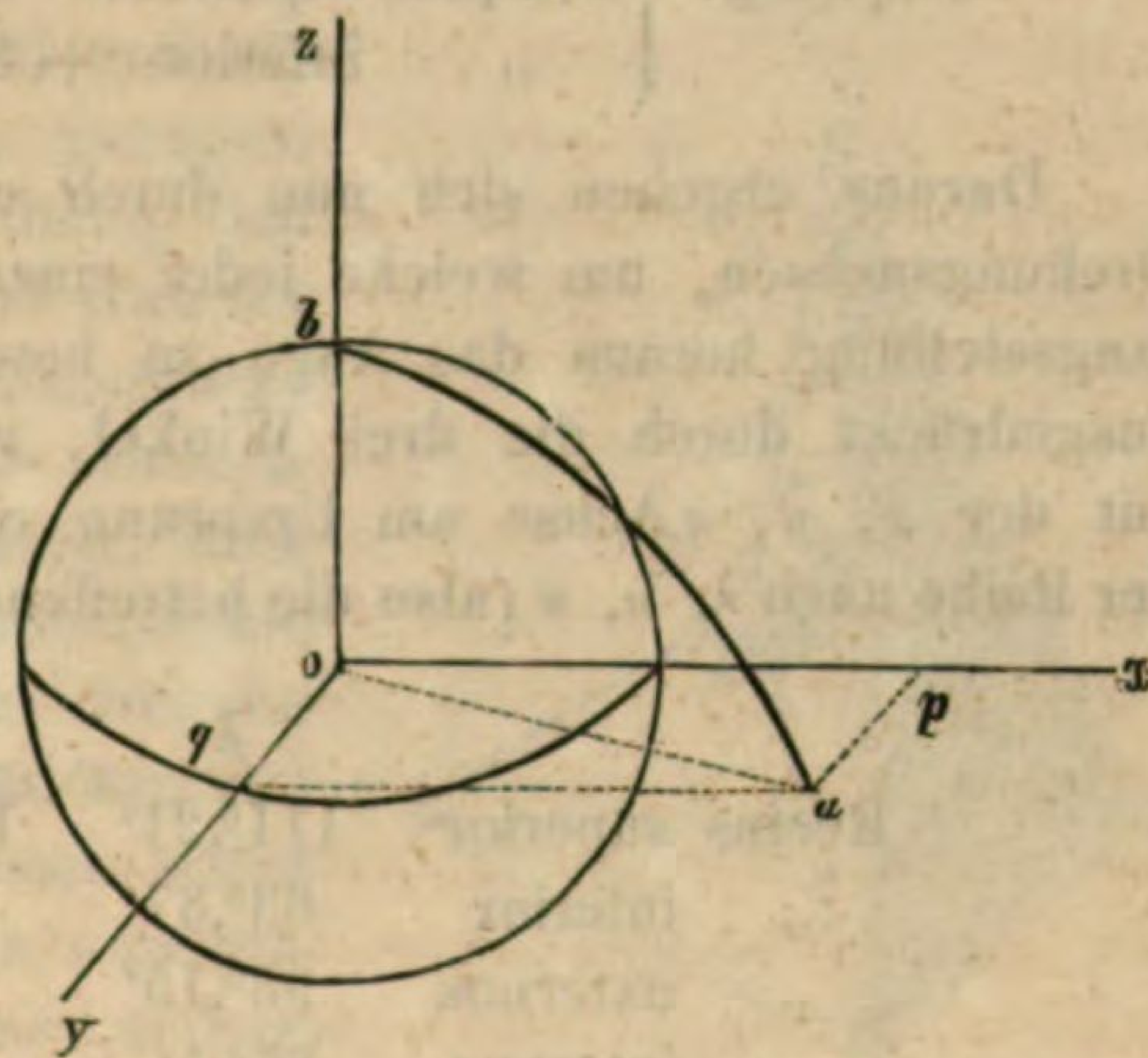


die Ebene ACD (der Zugebene), und zwar in dem Punkte A aufgerichtet werden müssen. — Das Moment des Muskelzuges (d. h. das Produkt aus dem Zugbestreben in den senkrechten Abstand der Zugrichtung vom Augenmittelpunkt) ist aber schliesslich nichts Anderes, als das Produkt des Augenhalbmessers in die Zugkraft der Resultirenden. Der Halbmesser AD des Auges kann nämlich darum als der eine bei allen Drehungen beständige Faktor angesehen werden, weil die Augenmuskeln viel zu weit über den Augapfel gerollt sind, um durch die dem lebenden Auge zukommenden Drehungsweiten soweit abgewickelt werden zu können, dass der am Auge angreifende Theil nicht mehr auf den Halbmesser senkrecht stände. Das Maximum des wirklich vorkommenden Drehungswinkels erreicht also, um die Sache an der Figur zu verdeutlichen, niemals den Werth DAC.

Um das relative und absolute Lagenverhältniss der Muskelebenen und der Achsen des Auges angeben zu können, bedienen wir uns wieder eines rechtwinklichten Coordinatensystems, dessen Achsen wir aber diesmal nach einem beliebigen Längenmaass, z. B. dem metrischen eingetheilt haben, in das wir uns das Auge mit seinen Muskeln nach den schon früher mitgetheilten Regeln eingelagert denken. Um den Gebrauch dieser Einrichtung für unsern Zweck zu erläutern, diene Folgendes; gesetzt es sei in Fig. 40 ab die Resultirende eines beliebigen Muskels, b ihr Ansatz am Auge und a derselbe am Knochen, o der Mittelpunkt des als Kugel angesehenen Auges, ox, oy, oz die Coordinatenlinien, deren Längeneintheilung von diesem o aus gezählt werde; im Gegensatz zu den nicht gezogenen Fortsetzungen dieser Linien jenseits des Augenmittelpunkts versehen wir die anwesenden Stücke mit dem Vorzeichen +, jene fehlenden also mit —. Um nun die Lage der

Ansatz- und Endpunkte durch die Coordinatenlinien zu bestimmen, projiziren wir die ersteren auf die einzelne Achse; in diesem Sinne bekommt der Punkt *a* auf *ox* den Werth *op* (projizirt durch *ap*), auf *oy* den Werth *oq* (projizirt durch *aq*) und auf *oz* den Werth Null (projizirt durch *ao*) und desgleichen der Punkt *b* auf *x* und *y* den Werth Null und auf *oz* den Werth *ob*.

Fig. 40.



Nach diesem in der Mechanik gebräuchlichen Verfahren hat Ad. Fick, der zuerst unsern Gegenstand einer strengen mathematischen Analyse unterworfen hat, die Lage der 6 Augenmuskeln und ihrer Drehungsaxen bestimmt. Zu dem Verständniss der folgenden Tabellen sei noch bemerkt, dass die *x* Achse seines Coordinatensystems zusammenfällt mit der gerade nach vorn und horizontal gerichteten Sehachse, sein *y* mit der Meissner'schen Grundlinie, d. h. der Verbindungslinie beider Drehungsmittelpunkte, und dass seine *z* Achse senkrecht auf der *x* und *y* bestimmten Ebene im Augenmittelpunkt einschneidet; das positive *x* geht von dem letztern Punkt nach hinten, das positive *y* nach aussen, das positive *z* nach oben. Die Längenmaasse sind Millimeter.

		x	*y*	*z*
Ansätze	Rectus superior	— 7,9	0,0	+ 9,1
	„ inferior	— 7,9	0,0	— 9,1
	„ externus	— 7,9	+ 9,1	0,0
	„ internus	— 7,9	— 9,1	0,0
	Obliquus superior	+ 2,7	+ 4,6	+ 9,9
	„ inferior	+ 6,0	+ 10,4	0,0
	Scheitel d. Cornea	— 12,0	0,0	0,0

		x	*y*	*z*
Ursprünge	Rectus superior	+ 31,0	— 16,0	+ 6,5
	„ inferior	+ 30,0	— 17,0	+ 2,0
	„ externus	+ 31,0	— 15,0	+ 2,0

		x	y	z
Ursprünge	Rectus internus	+ 30,0	— 18,0	+ 4,0
	Obliquus superior	— 10,9	— 19,6	+ 12,8
	„ inferior	+ 30,0	— 18,0	+ 6

Daraus ergeben sich nun durch eine einfache Rechnung die Drehungsachsen, um welche jeder einzelne Muskel aus dieser Anfangsstellung heraus das Auge zu bewegen strebt; ihre Lage ist ausgedrückt durch die drei Winkel, welche eine jede derselben mit der x, y, z Achse am Ursprung einschliesst; nennen wir sie der Reihe nach λ, μ, ν (also die betreffende Achse mit $x = \lambda$ u. s. w.).

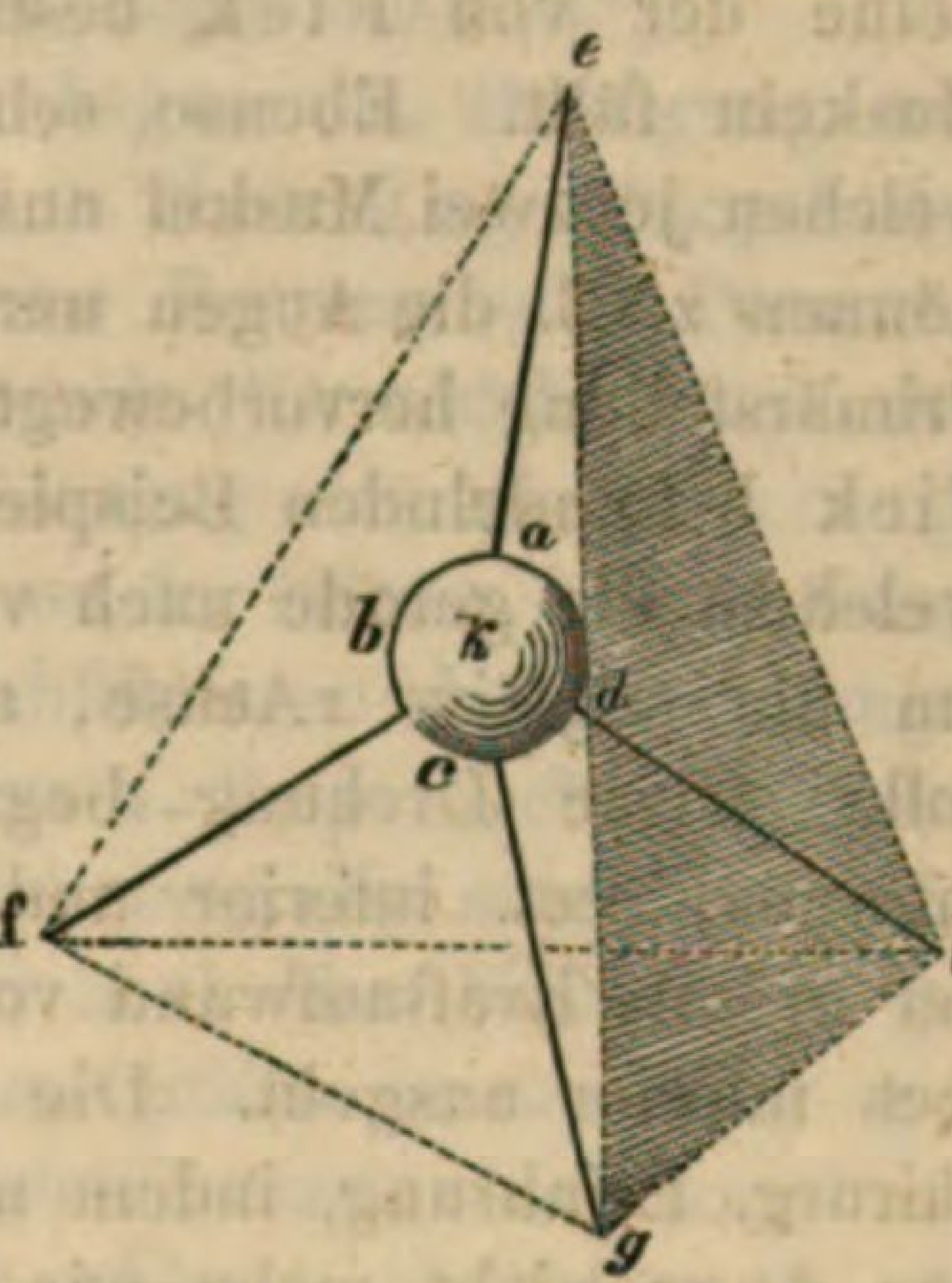
	λ	μ	ν
Rectus superior	111°,21′	151°,10′	108°,22′
„ inferior	63°,37′	37°,49′	114°,28′
„ externus	96°,15′	95°,27′	9°,15′
„ internus	85°,1′	94°,28′	173°,13′
Obliquus superior	150°,16′	60°,16′	90°,0′
„ inferior	29°,44′	119°,44′	90°,0′

Aus den mitgetheilten Definitionen der Coordinatensysteme von Meissner und Fick geht hervor, dass das x und z des erstern um 45° nach unten gegen das des letztern geneigt ist. Wollte man also die hier gegebenen Werthe für das Meissner-sche System gebrauchen, so müssten sie erst nach bekannten Regeln für dasselbe umgeformt werden.

Mit diesen Angaben ist also unser zuerst aufgestelltes Problem gelöst; ausser diesem gibt es aber noch ein zweites viel wichtigeres, und zwar: Welche Muskeln betheiligen sich an der Erzeugung einer jeden beliebigen am Auge vorkommenden Winkeldrehung, und wie stark ist der Zug, den ein jeder einzelne sich betheiligende Muskel ausübt? Auf diese Frage gibt die blos physikalische Betrachtung des Bewegungsapparates auch dann noch keine Antwort, wenn wir selbst 1. darauf verzichten, dass die Augenmuskeln eine merkliche Drehung ausführen sollen, und statt ihrer nur ein Drehungsbestreben setzen, und 2. selbst die Achse, um welche im gegebenen Fall die Drehung geschehen soll, als bekannt voraussetzen. Mit Ausschluss aller verwickelteren Betrachtungen ergibt sich die Unbestimmtheit der Antwort schon daraus, weil am Augapfel mehr Muskeln wirken, als zur Ausführung aller nur denkbaren Bewegungen desselben nothwendig sind. Denn es lehrt, wie Ad. Fick gezeigt hat, in Fig. 41 der Augenschein, dass zu dem letztern Zweck die vier

Muskelrichtungen *ae*, *bf*, *cg*, *dh* ausreichen, welche aus den vier Ecken eines Tetraeders entspringen und an das in seinem Innern gelegene Auge *k* hingehen. Da nun in der That schon drei recti und ein obliquus dieser Bedingung genügen, so sind zwei Muskeln überzählig, und es kann demgemäss ein und dieselbe Bewegung auf unendlich mannigfache Weise begonnen werden. — Berücksichtigen wir nun endlich noch, dass die am Auge befindlichen Ansatzpunkte unserer Muskeln mit jeder Drehung ihre ursprüngliche Lage verändern und zwar so, dass die Muskelebenen selbst eine von der ursprünglichen verschiedenen Lage erhalten, mit andern Worten, dass die Muskeln während einer Bewegung ihre Zugrichtung ändern, so erkennen wir sogleich, dass sich ohne besondere noch andere Bestimmungen einführende Hypothesen nichts aussagen lässt über die Art und Weise, in welcher die Augenmuskeln zur Erzeugung einer bestimmten Bewegung zusammen eingreifen. Von allen möglichen solcher Voraussetzungen stellt Ad. Fick die hin, es werde jede beliebige Augenbewegung so ausgeführt, dass zu ihr die möglichst geringe Gesammtanstrengung der Augenmuskeln nothwendig sei. Diese Unterstellung ist nicht allein die einfachste, sondern sie hat auch die Betrachtung für sich, dass alle andern Kräfte, welche neben der so eben hingestellten noch in Wirksamkeit treten, doch nicht zur Bewegung verwendet werden könnten, da sie, als nicht zu dem beabsichtigten Zwecke dienlich, sich gegenseitig aufheben müssten; sie würde also höchstens als Druck auf das Auge von Bedeutung sein. Mit zu Grundelegung dieser Annahme gelingt es nun, in jedem einzelnen Fall anzugeben, mit welchem Drehbestreben jeder einzelne Augenmuskel sich an der Bewegung betheiligt. Zu bedauern bleibt nur noch, dass die Lösung noch nicht durch allgemeine Ausdrücke möglich geworden ist; jede Betrachtung der Sache führt demnach in ein Meer von einzelnen Fällen. Von diesen wäre hervorzuheben. Die Bewegungen, zu welchen nur je ein Muskel verwendet wird, sind an Zahl verschwindend klein, gegen diejenigen, in welchen mehrere in Anwendung kommen; insbesondere ist kein Muskel für

Fig. 41.



sich allein genügend, um das Auge aus der Primärstellung (Meissner's Sehachse um 45⁰ geneigt) zu bewegen, da in die Ebene der Achsen, um welche die Bewegung aus dieser Stellung geschieht, keine der von Fick bestimmten Drehungsachsen der einzelnen Muskeln fällt. Ebenso scheint es, als ob die Bewegungen, zu welchen je zwei Muskel ausreichen, sehr wenig zahlreich seien; so können z. B. die Augen nur um 12 Achsen aus der obenerwähnten Primärstellung hervorbewegt werden (Meissner). Von den durch Fick behandelnden Beispielen heben wir nur das eine hervor, in welchem die gerade nach vorn und horizontal gerichtete Sehachse um die negative z Achse, also gerade nach innen gedreht werden soll. Diese Drehung beginnt mit einer Anstrengung des rect. internus, rect. inferior und obliquus superior, und zwar so, dass der grösste Kraftaufwand vom rect. internus und der geringste vom rect. inferior ausgeht. Die Bestätigung dieser Rechnung ergibt die chirurg. Erfahrung, indem nach Durchschneidung des rect. internus das Auge nicht mehr wie früher im geraden Zug, sondern nur schwankend zwischen andern Richtungen nach innen geführt wird (Graefe). Dem Willen war also der Ausfall des rect. internus merklich.

Inwiefern diese Daten genügen, um zur Diagnose einer besondern Muskellähmung zu gelangen, zeigt Graefe. Die Regel, die er aufstellt, um den Ausfall eines Muskels zu bestimmen, besteht einfach darin: man solle das Auge sich in der Richtung bewegen lassen, bei welcher der vermuthlich gelähmte Muskel vorzugsweise betheiligt sei. Zur Ermittelung der verlangten Richtung wird aber die von Fick entworfene Tafel der Drehungsachsen für die einzelnen Muskeln genügen, da dem Vorigen gemäss vorausgesetzt werden kann, dass bei einer Bewegung um diese Achse vorzugsweise der zugehörige Muskel in Aktion kommt.

2. Ortsverändernde Bewegungen *).

Ihre Möglichkeit ergibt die Beobachtung, dass der Bulbus mittelst eines Fingerdruckes und namentlich nach den Seiten hin verschiebbar ist; ob sie aber in der That durch die Wirkung der Augenmuskeln im Menschen vorkommt, ist noch zu erweisen. Die Bedingungen, unter denen dieses geschehen würde, bestehen in gleichzeitiger Zusammenziehung antagonistischer Muskeln, in der Anordnung, dass die drehenden Wirkungen derselben aufgehoben und nur die durch den Drehpunkt des Auges und die Ansatzpunkte der Muskeln fallenden zur Aeusserung kämen. Die mm. obliqui

*) Ruete, Ophthalmologie p. 14.

würden ihrem Ansatz gemäss dabei behilflich sein können, den Drehpunkt nach vorn, die mm. recti dagegen ihn nach hinten zu ziehen.

3. Formverändernde Wirkungen der Augenmuskeln*).

Wenn ein Muskel einem Theil des Auges eine Bewegung mitzutheilen strebt, während die übrigen in ihrer Lage festgeheftet sind, so wird statt einer Bewegung eine Zerrung oder Pressung und vorausgesetzt, dass eine hinreichende Verschiebbarkeit der Theilchen vorhanden, eine Formveränderung des Auges erzeugt werden. Diese wird abhängig sein: a) von der Stärke und Richtung des Muskelzuges und den gleichen Verhältnissen des bewegungshemmenden Einflusses, in der Art, dass z. B. je nach den Orten des Widerstandes ein und derselbe Muskelzug die mannigfachsten Formveränderungen erzeugen kann; b) nach der Natur des gedrückten oder gezerrten Körpers und namentlich je nachdem sich in ihm ein Druck gleichmässig oder ungleichmässig fortpflanzt und je nachdem der Körper an einigen Stellen widerstandsfähiger ist, als an andern. Da nun das Auge eine mit Flüssigkeit gefüllte Kugel darstellt, in welcher sich der Druck nach allen Seiten hin gleichmässig mittheilt, da ferner die Cornea, Sclerotica und die Umgrenzung des Auges von ganz verschiedener Nachgiebigkeit ist, so könnte man zu dem Schluss gelangen, dass jede Art von Pressung neben einer besondern von der Richtung der pressenden Einflüsse herrührenden, eine allgemeine immer wiederkehrende Formveränderung erzeugte. Ob aber dieses oder ein anderes der Fall sein möchte, ist den hier noch vollkommen fehlenden Experimentalarbeiten zur Entscheidung zu überlassen. Einen besondern Fall werden wir bei der Accomodation behandeln.

Die gewöhnlichen Annahmen, dass das Zusammenwirken der geraden eine Verkürzung, das der schiefen Muskeln eine Verlängerung des Auges in der Richtung der Sehachse erzielen solle, entbehrt jeglichen Beweises. Vielleicht sind die Membranen des lebenden Auges durch ihre pralle Anfüllung mit Flüssigkeit so stark gespannt, dass die Augenmuskeln, selbst bei heftigen Contraktionsgraden, gar keine irgend erhebliche Formveränderung zu Stande bringen. —

4. Nerven der Augenmuskeln; Verknüpfung der Bewegungen der beiderseitigen Augenmuskeln**). Stellung zum Willen.

*) Müller, Lehrb. d. Physiologie II. Bd. 333. — Brücke in den Berliner Berichten über Fortschritte d. Physik. I. Bd. 203.

**) H. Meyer. Zur Lehre von der Synergie der Augenmuskeln. Poggendorf's Annalen Bd. 85. 1852. — J. Müller, Lehrbuch der Physiologie II. Bd. p. 85. — Böhm, das Schielen. Berlin 1845. p. 15 u. f. — Meissner, l. c. — Graefe, l. c.

Ueber die Abhängigkeit der Muskeln von den Nerven siehe die nn. oculomotorius, abducens, trochlearis.

Die Bewegungen beider Augen befinden sich in der innigsten gegenseitigen Abhängigkeit, die sich darin ausprägt, dass gleichzeitig von beiden Augen nur solche Drehungen um die Querachse (Grundlinie) ausgeführt werden, bei denen die Sehachsen um einen gleich grossen Winkel und im gleichem Sinne gegen den Horizont geneigt sind, so dass, wenn die Sehachsen von der horizontalen Lage abweichen, sie entweder beide nach oben oder beide nach unten gerichtet sind. — c) In der Richtung von rechts nach links (um die Höhenachse) können beide Augen gleichzeitig so gestellt werden, dass die Sehachsen in jedem beliebigen Winkel nach vorn convergiren, während die Augen nur in sehr beschränkter Weise in eine Stellung geführt werden können, bei welcher die Sehachsen nach hinten convergiren, also nach vorn divergiren. Nach H. Meyer ist der Divergenzwinkel, bis zu welchen die beiden Sehachsen geführt werden können, um etwas grösser, wenn man das linke Auge fixirt erhält und das rechte nach aussen führt, als umgekehrt wenn man dem rechten eine fixe Stellung gibt und das linke nach aussen wendet; das Maximum der Divergenz beträgt nach seinen Untersuchungen etwa 11°; bei einer bestehenden Schwäche der Sehkraft des einen der beiden Augen ist es jedoch möglich die Divergenz noch weiter zu treiben.

Sämmtliche Augenmuskeln sind dem Willen unterthan; die Annahme, dass die mm. obliqui seinem Einfluss gänzlich entzogen seien, ist durch die Arbeiten von Donders, Fick, Meissner und Graefe als widerlegt zu betrachten. Der Willenseinfluss ist jedoch am Auge der Beschränkung unterworfen, dass jedes Auge für sich zwar in jede beliebige Stellung gebracht werden kann, dass dieses aber nicht durch jede beliebige Muskelcombination möglich ist. Für die Bewegungen beider Augen sind die Beschränkungen gegeben durch die Nothwendigkeit, die oben erwähnten Combinationen in den Bewegungen beider Augen inne zu halten.

Zur Erläuterung der besondern Art von Abhängigkeit, in welcher die Nerven der Augenmuskeln zu den Willensorganen stehen, sind bis dahin nur sehr wenig bedeutende Hypothesen zu Tage gefördert. Von Bedeutung für Ausgangspunkte zukünftiger Untersuchung ist die Erfahrung, dass man durch Uebung die Muskelcombinationen in den vorgezeichneten Grenzen beträchtlich mehren kann (Joh. Müller), was sich durch die Beweglichkeit des Blicks ausprägt und die Behauptung, dass man durch Uebung die gewöhnliche Verknüpfung der Muskeln lösen könne (?); ferner, dass mit einer Erlahmung der Funktionen der Retina die Combinationen sich ändern (Böhm); und

endlich, dass nach Verletzung der Kleinhirnschenkel und Vierhügel ebenfalls Stellungen der Augen zu Stande kommen, die ohne diese Eingriffe nicht möglich sind. —

5. Geschwindigkeit der Bewegung *).

Veränderungen in dem Contraktionsgrad und der Combination der einzelnen Augenmuskeln gehen, wie später bei der Lehre von der Perspektive und von den entoptischen Figuren erläutert wird, mit ausserordentlicher Geschwindigkeit vor sich.

Volkmann hat dieses bestritten, nach Versuchen, in welchen er auf zwei Winkel eines bekannten Dreiecks, dessen dritter mit dem Drehpunkte des Auges zusammen fiel, Nadeln einfügte und nun versuchte, wie oft er in einer halben Minute wechselnd beide Nadeln sehen konnte. Aus diesen Versuchen ergab sich zwar im Allgemeinen, dass grosse Zeiten selbst bei kleinen Bewegungen nothwendig waren, zugleich aber das verdächtigende Resultat, dass zuweilen grössere Bewegungen eine kürzere Zeit brauchen, als kleine **). Wie es scheint mit Recht, bemerkte Brücke zu diesen Versuchen, dass man in ihnen ausser der auf die Bewegung verbrauchten Zeit auch noch die gemessen habe, welche der mehr oder weniger geübte Wille nöthig hatte, um die Bewegung anzuregen und die angeregte zu hemmen. Eine fortgesetzte Uebung in einer bestimmten Versuchsreihe dürfte wahrscheinlich die hier gemessenen Zeiten sehr verkleinern.

Der dioptrische Theil des Auges.

1. Physikalische Einleitung. In dieser Nummer folgen wir durchaus und zwar oft wörtlich den Ausdrücken, in welchen Helmholtz ***) die Theoreme von Gauss über Strahlenbrechung durch ein System von brechenden Flächen gebracht hat.

Die Lage und Grösse der optischen Bilder, welche centrirte Systeme †) von kugeligen brechenden Flächen entwerfen, sowie auch der Gang eines jeden durch sie hindurch gegangenen Lichtstrahls, der sämmtliche brechende Flächen unter sehr kleinen Einfallswinkeln passirt hat, ist nach verhältnissmässig einfachen Regeln zu bestimmen, wenn man gewisse Punkte, die optischen Cardinalpunkte des Systems kennt. Es gibt drei Paare von solchen Punkten, nämlich die beiden Brennpunkte, die beiden Hauptpunkte und die beiden Knotenpunkte. — Man nenne die Seite des Systems, von der das Licht herkommt, die erste, die, nach der es hingeht, die zweite Seite; das Brechungsverhältniss des ersten Mittels sei n_1, das des letzten n_2.

*) Volkmann, Artikel Sehen in Wagner's Handwörterb. III. Bd. 1. Abth. p. 276. — Brücke, Berliner Berichte II. p. 215.

**) Tab. I und II mit einem Auge, Hüttenheim.

***) Karsten's Encyklopaedie. Leipzig 1856. — Physiolog. Optik. p. 39.

†) Centrirt heisst bekanntlich ein System, wenn die Mittelpunkte der brechenden Kugelflächen sämmtlich in einer geraden Linie, der Achse des Systems, gelegen sind.

Der erste Brennpunkt ist dadurch bestimmt, dass jeder Strahl, der vor der Brechung durch ihn geht, nach der Brechung parallel mit der Achse wird.

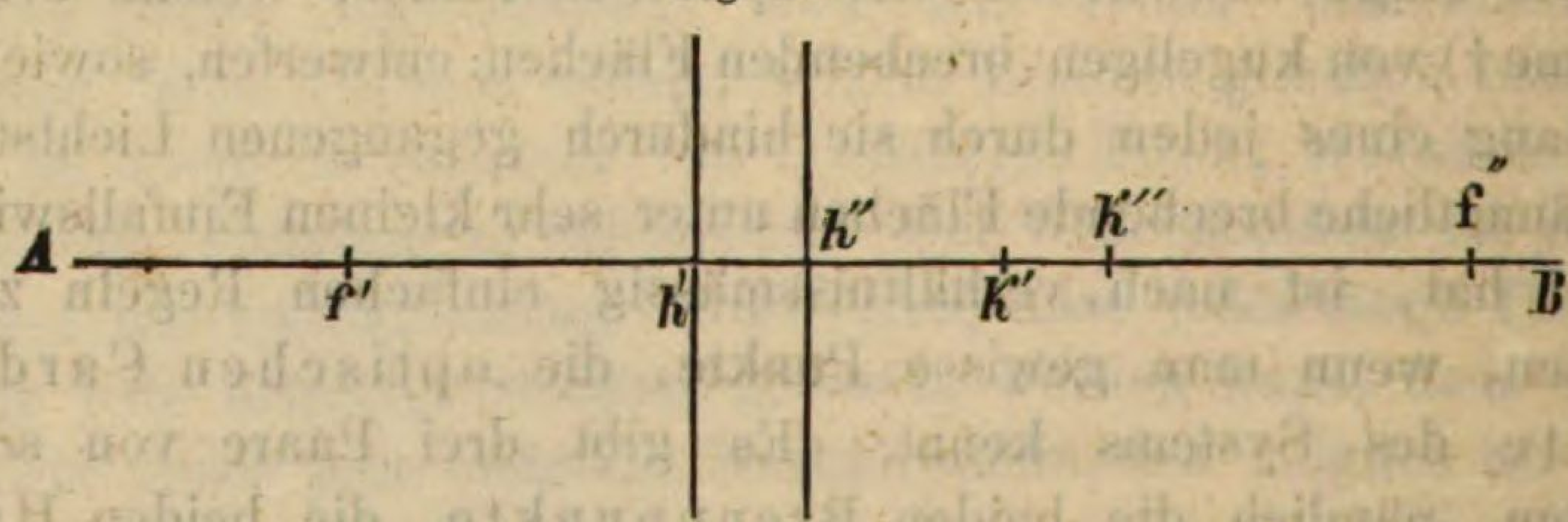
Der zweite Brennpunkt ist dadurch bestimmt, dass durch ihn jeder Strahl geht, der vor der Brechung parallel der Achse ist.

Der zweite Hauptpunkt ist das Bild des ersten, das heisst Strahlen, welche im ersten Mittel durch den ersten Hauptpunkt gehen, gehen nach der letzten Brechung durch den zweiten. Ebenen senkrecht zur Achse durch die Hauptpunkte gelegt heissen Hauptebenen. Die zweite Hauptebene ist das optische Bild des ersten und zwar sind es die einzigen zusammengehörigen Bilder, welche gleichgross und gleichgerichtet sind. Durch diese Bedingung ist die Lage der Hauptpunkte bestimmt.

Der zweite Knotenpunkt ist das Bild des ersten. Ein Strahl, der im ersten Medium nach dem ersten Knotenpunkte gerichtet ist, geht nach der Brechung durch den zweiten Knotenpunkt, und die Richtungen des Strahls vor und nach der Brechung sind einander parallel.

Die Entfernung des ersten Hauptpunktes vom ersten Brennpunkte ist die erste Hauptbrennweite. Sie wird positiv gerechnet, wenn der erste Hauptpunkt im Sinnne der Fortbewegung des Lichts hinter dem ersten Brennpunkte liegt. Ist also in Fig. 42

Fig. 42.



AB die Achse und A die Richtung, woher das Licht kommt, f' der erste, f'' der zweite Brennpunkt, h' der erste, h'' der zweite Hauptpunkt, k' der erste, k'' der zweite Knotenpunkt, so ist $f'\,h'$ die positive erste Hauptbrennweite; $f''\,h''$, als die Entfernung des zweiten Brennpunktes vom zweiten Hauptpunkt, ist die zweite Hauptbrennweite positiv gerechnet, wenn, wie in der Figur, der Brennpunkt hinter dem Hauptpunkt liegt.

Die Entfernung des ersten Knotenpunktes vom ersten Brennpunkt ist gleich der der zweiten Hauptbrennweite, die des zweiten

Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkt gleich der ersten Hauptbrennweite; also $f' k' = f'' h''$ und $f' h' = f'' k''$. — Daraus folgt, dass der Abstand der gleichnamigen Haupt- und Knotenpunkte voneinander gleich dem Unterschiede der beiden Brennweiten sei, $k' h' = k'' h'' = f'' h'' - f' h'$; und dass ausserdem der Abstand der beiden Hauptpunkte voneinander gleich sei dem Abstande der beiden Knotenpunkte voneinander, $h' h'' = k' k''$. Endlich verhalten sich die beiden Hauptbrennweiten zu einander wie die Brechungsverhältnisse des ersten und letzten Mittels $\frac{f' h'}{n_1} = \frac{f'' h''}{n_2}$. Ist also das erste Mittel dem letzten gleichartig und $n_1 = n_2$, wie es bei den meisten optischen Instrumenten, nicht aber dem Auge der Fall ist, so sind die beiden Hauptbrennweiten gleich und es fallen die gleichnamigen Haupt- und Knotenpunkte zusammen.

Die ersten Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte beziehen sich nach den gegebenen Definitionen stets auf den Gang der Strahlen im ersten Medium, die zweiten auf den Gang im letzten Medium.

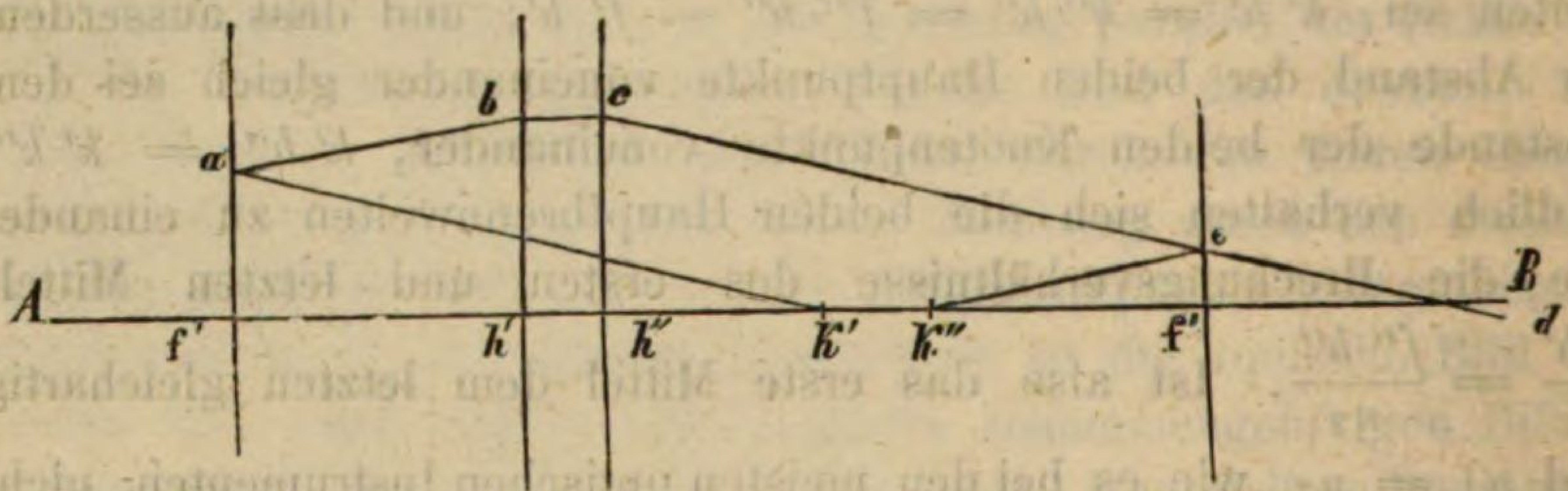
Legt man senkrecht zur Achse Ebenen durch die beiden Brennpunkte, so heissen diese Brennebenen. Lichtstrahlen, welche von einem Punkte der ersten Brennebene ausgegangen sind, sind nach der Brechung untereinander parallel und da (nach der Definition der Knotenpunkte) der vom leuchtenden Punkte nach dem ersten Knotenpunkte gerichtete Strahl nach der Brechung seiner ursprünglichen Richtung parallel sein soll, so müssen alle Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte in der ersten Brennebene ausgegangen sind, jenem Strahl nach der Brechung parallel sein.

Strahlen, welche im ersten Mittel untereinander parallel sind, vereinigen sich in einem Punkte der zweiten Brennebene und da derjenige von den parallelen Strahlen, welcher durch den ersten Knotenpunkt geht, nach der Brechung vom zweiten Knotenpunkte aus seiner frühern Richtung parallel weiter geht, so muss der Vereinigungspunkt der parallelen Strahlen da liegen, wo dieser letzte Strahl die zweite Brennebene schneidet.

Diese Regeln genügen, um in jedem Falle, wenn der Weg eines Strahls im ersten Medium gegeben ist, seinen Weg nach der letzten Brechung zu finden und, wenn ein leuchtender Punkt im ersten Medium gegeben ist, den Ort seines Bildes nach der letzten Brechung zu finden.

Es sei in Fig. 43 ab der Weg eines Strahls im ersten Medium; man soll seinen Weg im letzten Medium finden. Es sei a der Punkt, wo er die erste Brennebene schneidet, b der Punkt, wo er die erste

Fig. 43.



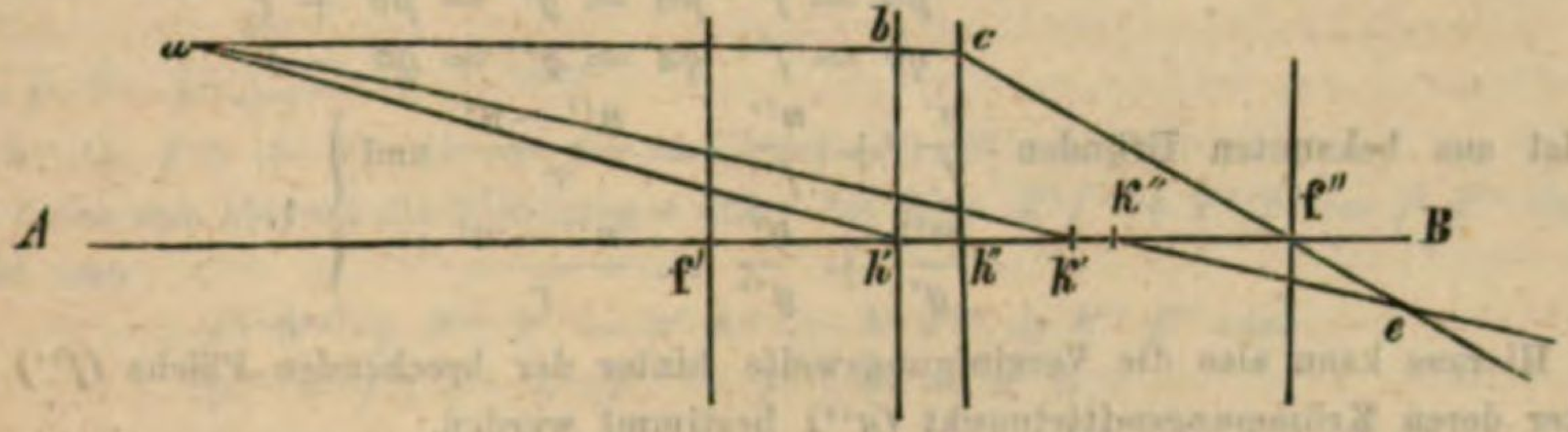
Hauptebene schneidet, wobei im Allgemeinen die beiden Punkte a und b nicht in einer Ebene mit der Achse des Systems AB liegen werden. Das Bild des Punktes b liegt in der zweiten Hauptebene, da die eine Hauptebene das Bild der andern ist; und da ferner in diesem Falle das eine Bild dem andern gleich und gleich gerichtet sein soll, so liegt das Bild des Punktes b der ersten Hauptebene in c, dem Fusspunkt des von b auf die zweite Hauptebene gefällten Lothes bc. Jeder Lichtstrahl, der von b ausgeht oder durch b hindurch geht, muss also nach der Brechung durch c gehen, als dem Bilde von b. So auch die Fortsetzung des Strahls ab. Zweitens geht der Strahl ab durch den Punkt a der ersten Brennebene. Jeder Strahl, welcher von einem Punkte der ersten Brennebene ausgeht, ist nach den oben hingestellten Regeln nach der Brechung parallel dem Strahle, welcher von jenem Punkte a nach dem ersten Knotenpunkt geht. Also muss der Strahl ab nach der Brechung durch c gehen und parallel ak' sein. Man ziehe cd parallel ak', so ist cd der gebrochene Strahl.

Nach dem, was vorher über die Eigenschaft der zweiten Brennebene gesagt wurde, kann man auch so verfahren. Man fälle das Loth bc auf die zweite Hauptebene, ziehe $k''e$ parallel ab, welches in e die zweite Brennebene schneidet, so ist ce der gebrochene Strahl. Dass dieser mit cd zusammenfällt, lässt sich leicht zeigen.

Es sei ferner (Fig. 44) a ein leuchtender Punkt, es soll sein Bild gefunden werden. Man braucht nur zwei Strahlen von a aus nach der ersten Hauptebene zu ziehen und deren Weg nach der Brechung zu construiren. Wo sie sich schneiden, liegt das Bild von a. Wenn a ausserhalb der Achse liegt, so ist es am bequemsten, den mit der Achse parallelen Strahl ac und den nach dem

ersten Knotenpunkte ak' zu benutzen. Wenn c der Punkt ist, wo der erstere Strahl die zweite Hauptebene schneidet, so ziehe man

Fig. 44.



cf'' und verlängere es rückwärts oder vorwärts hinreichend, bis es die durch k'' mit ak gelegte Parallele in e schneidet. Der Ort des Bildes ist e.

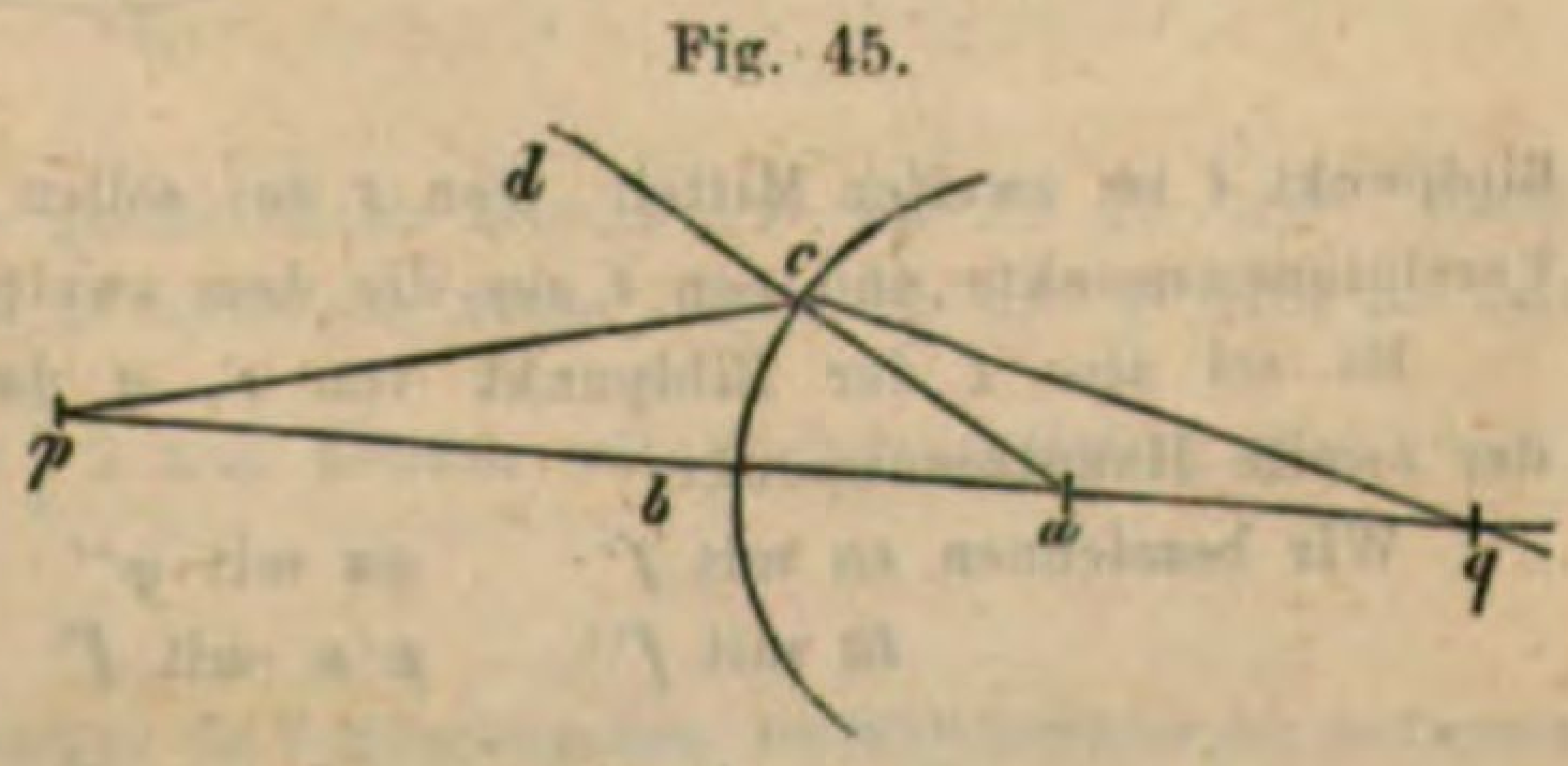
Liegt der Punkt a in der Achse, so geht einer seiner Strahlen in der Achse selbst ungebrochen fort, man braucht dann nur irgend einen andern Strahl zu construiren, der ausserhalb der Achse verläuft. Wo letzterer nach der Brechung die Achse wieder schneidet, ist der Ort des Bildes.

Durch Helmholtz ist der Weg, auf dem die Cardinalpunkte eines Systems von brechenden Flächen berechnet werden können, selbst für einen weniger geübten, so klar dargelegt worden, dass es erlaubt sein möchte ihn hier mitzutheilen. Dabei setzen wir jedoch voraus, dass dem Leser schon aus einer elementaren Physik die Formeln geläufig seien, welche aufgestellt wurden für die Berechnung eines homozentrischen Lichtstrahls an der kugeligen Grenzfläche zweier optisch differenter Mittel. Helmholtz bediente sich bei seiner Darstellung dieser Verhältnisse einiger nicht gewöhnlicher Bezeichnungsweisen. Wir geben darum seine Definitionen der Zeichen und zugleich die einfachen Grundformeln, auf die er die complizirten Fälle aufbaut.

Es bezeichne c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts im luftleeren Raum, c', c_2 diejenige in zwei andern Mitteln, so ist das Brechungsverhältniss n', n'' zwischen dem luftleeren Raum und den Mitteln mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit c_1, c_2, $n' = \frac{c}{c_1}$; $n'' = \frac{c}{c_2}$. Ferner sei α der Einfallswinkel (d. h. der Winkel, den der Strahl des ersten Mittels an der Grenzfläche mit der Verlängerung des Krümmungshalbmessers des zweiten Mittels bildet) und β der Brechungswinkel, so ist, da die Sinus dieser Winkel sich verhalten, wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$.

1. Die Vereinigungsweite eines Strahlenbüschels, d. h. die Entfernung des Punktes hinter der brechenden Fläche, in welcher einer von der Achse vor der krummen Fläche ausgegangener Strahl die Achse wieder schneidet, wird durch folgende Ausdrücke gegeben. In Figur 45 ist pq die Achse der

Fig. 45.



brechenden Fläche, welche ihren Mittelpunkt a enthält. pc sei der Strahl im ersten Mittel, sein Einfallswinkel sei, was künftig immer gilt, sehr klein, sodass die Länge $pc = pb$ und statt des Kreisbogens bc sein Sinus gesetzt werden kann. Ferner

$$pb = f' \quad pa = g' = pb + r$$
$$qb = f'' \quad qa = g'' = qb - r$$

so ist aus bekannten Gründen

$$\left.\begin{aligned} \frac{n'}{f'} + \frac{n''}{f''} &= \frac{n''-n'}{r} \text{ und} \\ \frac{n''}{g'} + \frac{n'}{g''} &= \frac{n''-n'}{r} \end{aligned}\right\} 1.$$

Hieraus kann also die Vereinigungsweite hinter der brechenden Fläche (f'') oder hinter deren Krümmungsmittelpunkt (g'') bestimmt werden.

Nennen wir die Werthe von f'' oder g'', welche einem mit der Achse parallelen Strahlengang im ersten Mittel, also einer unendlichen Entfernung von dem Punkte a entsprechen F'' und G'', so wird $F'' = \frac{n'' r}{n''-n'}$ und $G'' = \frac{n' r}{n''-n'}$ $\Big\}$ 1 a.

Setzen wir dagegen f'' und g'' unendlich gross, so wird für diesen Fall f' und g' die wir dann mit F' und G' bezeichnen

$$F' = \frac{n' r}{n''-n'} = G'' \text{ und } G' = \frac{n_{,,} r}{n''-n'} = F'' \Big\} 1^{b}.$$

Daraus folgt $\frac{F'}{f'} + \frac{F''}{f''} = \frac{G'}{g'} + \frac{G''}{g''} = 1 \Big\}$ 1 c.

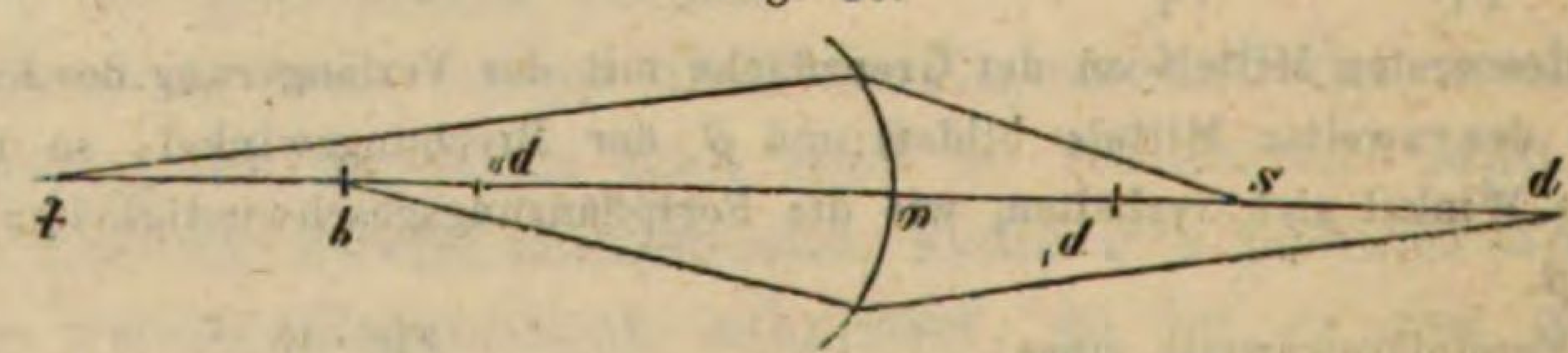
Und nun für f' und f''

$$f' = \frac{F' f''}{f''-F''} \text{ und } f'' = \frac{F'' f'}{f'-F'}. \Big\} 1^{d}.$$

Bekanntlich nennt man die Vereinigungspunkte F' und F'', die unter der Voraussetzung zu Stande kommen, dass die Entfernungen f'' oder f' unendlich gross seien, Hauptbrennpunkte, und zwar den vor der Kugelfläche gelegenen (F') den ersten und den hinter ihr (an der concaven Seite) befindlichen (F'') den zweiten.

Die mit ihrer Hilfe gebildeten Ausdrücke 1 c und 1 d können eine noch allgemeinere Form annehmen, wenn die Entfernungen der Bildpunkte, statt wie bisher, von verschiedenen, von zwei zu einander gehörigen Punkten gemessen werden, also wie in Fig. 46 von einem beliebigen Achsenpunkte s im ersten und von seinem zugehörigen

Fig. 46.



Bildpunkt t im zweiten Mittel. Von s aus sollen alle dem ersten Mittel zukommenden Vereinigungspunkte und von t aus die dem zweiten angehörigen gemessen werden.

Es sei also t der Bildpunkt von s, q das Bild von p und p' der erste, p'' der zweite Hauptbrennpunkt.

Wir bezeichnen sa mit f'	qa mit φ''	ps mit h'
ta mit f''	$p'a$ mit F'	$p's$ mit $-H'$
		qt mit $-h''$
pa mit φ'	$p''a$ mit F''	tp'' mit $-H''$

$$\alpha)\ \frac{F'}{f'} + \frac{F''}{f''} = 1;\ \beta)\ \frac{F'}{\varphi'} + \frac{F''}{\varphi''} = 1;\ \gamma)\ \varphi' - f' = h';\ \delta)\ \varphi'' - f'' = h'';$$

$$\varepsilon)\ F' - f' = H';\ \zeta)\ F'' - f'' = H''.$$

Setzt man aus γ und δ die Werthe von φ' und φ'' in β, so erhält man

$$\frac{F_{,}}{h'+f'} + \frac{F''}{h''+f''} = 1 \text{ oder}$$

$$F'\,(h'' + f'') + F''\,(h' + f') = (h' + f')\,(h'' + f'').$$

Zieht man hiervon die Gleichung α unter der Form $F'f'' + F''f' = f'\,f''$ ab, so erhält man

$$F'\,h'' + F''\,h' = h'\,h'' + h'\,f'' + h''\,f' \text{ oder}$$

$$(F' - f')\,h'' + (F'' - f'')\,h' = h'\,h''.$$

Dieses verwandelt sich vermöge ε und ζ in

$$H'\,h'' + H''\,h' = h'\,h'' \text{ oder}$$

$$\left.\frac{H'}{h'} + \frac{H''}{h''} = 1\ \right\}\ 1^{e}.$$

Wollte man den Punkt s in den ersten Brennpunkt vorlegen, so würde die Gleichung 1^e unbrauchbar, weil dann H'' und h'' unendlich gross würden. Um für diesen Fall die entsprechende Gleichung zu finden, wendet man die erste von 1^d an, nämlich $f' = \frac{F'\,f''}{f'' - F''}$. Zieht man beiderseits F' ab, so erhält man

$$\left. f' - F' = \frac{F'\,F''}{f'' - F''}\ \right\}\ 1^{f}.$$

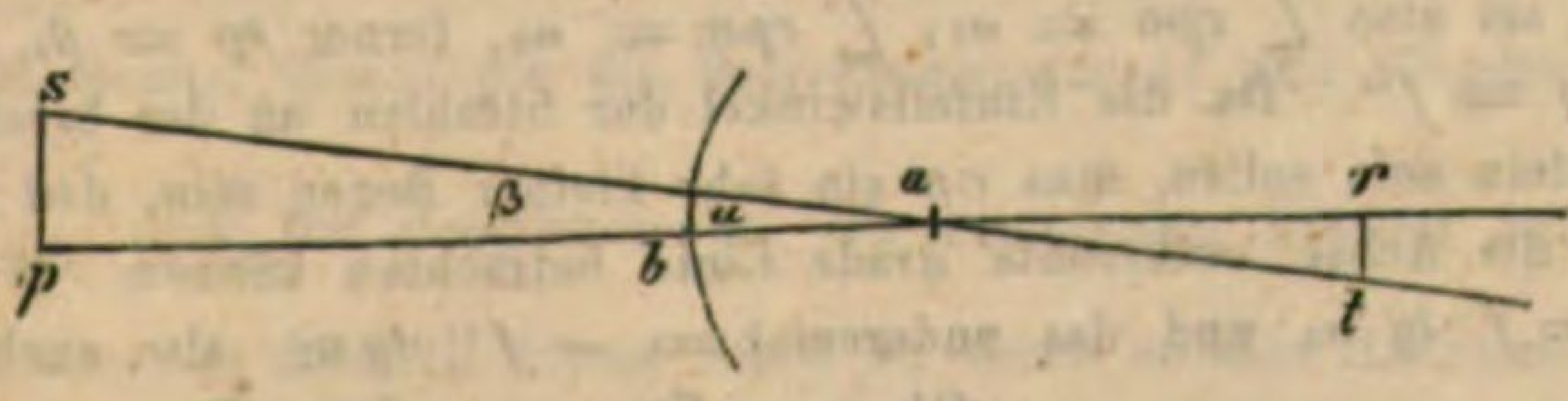
Setzen wir hier $f' - F' = l'$ nnd $f'' - F'' = l''$ wobei l' die Entfernung des leuchtenden Punkts vom ersten Brennpunkt aus nach vorn gerechnet, l'' die Entfernung seines Bildes vom zweiten Brennpunkte aus nach hinten sein würde, so erhalten wir das einfachste Gesetz für die Lage der Bilder, nämlich

$$\left. l'\,l'' = F'\,F''\ \right\}\ 1^{g}.$$

2. Abbildung von Objekten durch eine brechende Kugelfläche.

Wir können als bekannt voraussetzen, dass die Bilder ebener, senkrecht zur Achse*) stehender Objekte selbst wieder eben und senkrecht zur Achse sind, und nur umgekehrt stehn. Wäre demnach in Fig. 47 sp der Durchschnitt durch das Objekt und rt

Fig. 47.



sein Bild, so würde durch bekannte geometrische Regeln $rt : sp = ar : ap$. Wenn wir nun sp mit β', rt mit $-\beta''$ (da es unter der Achse liegt), ap mit g' und ar mit g'' benennen, so wird $\left. -\frac{\beta'}{\beta''} = \frac{g'}{g''}\ \right\}$ 2 und hieraus mit Berücksichtigung von 1^c

*) Unter Achse versteht man in diesem Fall die Verbindungslinie des Mittelpunktes der krummen Fläche mit dem Mittelpunkt des Bildes.

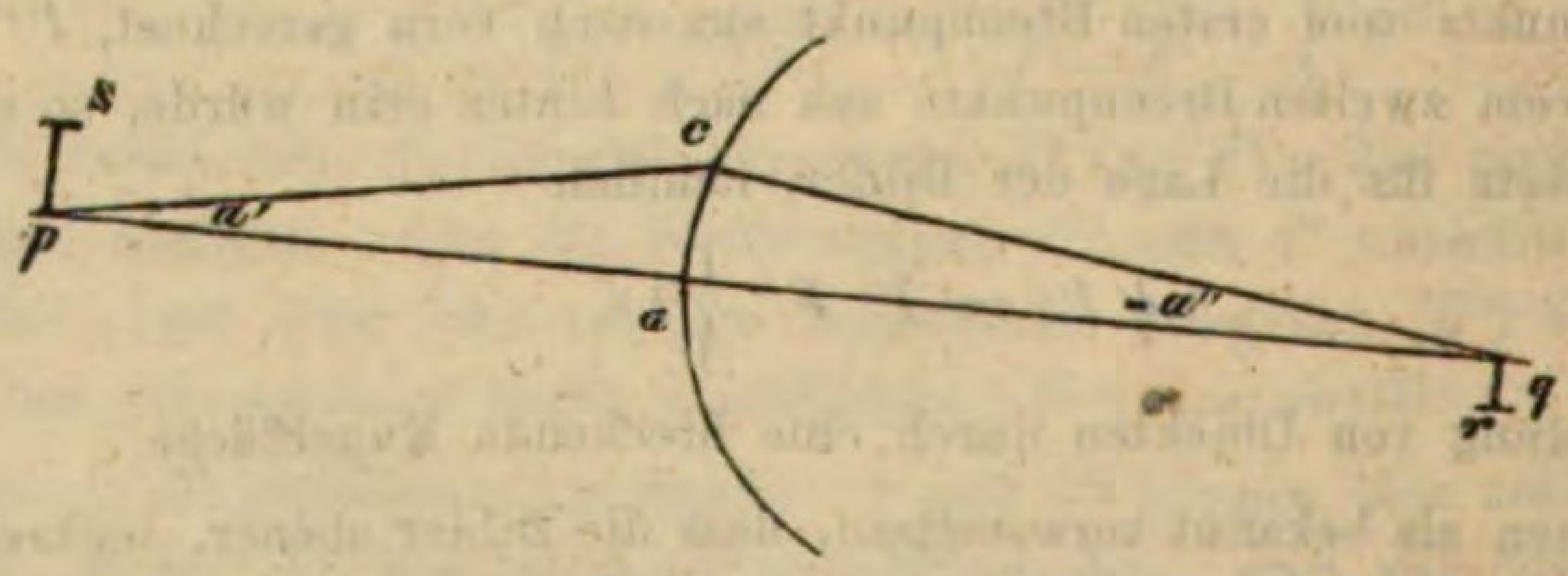
$$\left.\frac{\beta''}{\beta'} = \frac{G''}{G'-g'} = \frac{G''-g''}{G'}\right\} 2^{a} \text{ oder}$$

$$\left.\frac{\beta''}{\beta'} = \frac{F'}{F'-f'} = \frac{F''-f''}{F''}\right\} 2^{b}.$$

3. Die Cardinalpunkte einer einfachen brechenden Fläche. Mit Hilfe der entwickelten Ausdrücke soll nun die Lage der Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte der einfachen brechenden Fläche aufgesucht werden. — Die Brennpunkte und zwar ebensowohl ihr Abstand von der krummen Fläche, als auch vom Mittelpunkt derselben geben die 1^{a} und 1^{b}. — Die Bilder, die in den beiden Hauptpunkten und den durch sie bestimmten Ebenen entworfen wurden, sollten der Definition gemäss gleich gross und gleich gerichtet sein; also muss in 2^{b} $\beta'' = \beta'$ sein. Dieses kann aber nur stattfinden, wenn $f' = f'' = 0$ ist; somit fallen also die beiden Hauptpunkte in einen zusammen und zwar an dem Ort, wo die Achse die krumme Fläche schneidet. — Die Anschauung lehrt endlich, dass für den vorliegenden Fall auch die beiden Knotenpunkte in einen und zwar in den Mittelpunkt der krummen Fläche fallen, denn der Definition gemäss sollte jeder Strahl, der vor der Brechung nach dem ersten gerichtet ist, nach der Brechung auf den zweiten zielen, und zugleich sollte der Strahl vor und nach der Brechung parallel gehen. Nun geht aber jeder Strahl, der auf den Mittelpunkt der krummen Fläche zielt, ungebrochen durch die Trennungsfläche, er verlässt also auch jenen Mittelpunkt in einer der ursprünglichen parallelen Richtung.

4. Beziehung zwischen der Grösse der Bilder und der Convergenz der Strahlen. Es sei in Fig. 48 pq die Achse, sp ein Objekt und qr sein Bild; wir wollen die

Fig. 48.



Winkel α' und α'' bestimmen, welche einer der von p ausgehenden Strahlen pc vor und nach der Brechung mit der Achse macht, und diese Winkel positiv rechnen, wenn der Strahl sich in der Richtung der als positiv gerechneten Bilder von der Achse entfernt. Es sei also $\angle\, cpa = \alpha_1$, $\angle\, cpa = \alpha_2$, ferner $sp = \beta_1$, $qr = -\beta_2$, $ap = f'$, $aq = f''$. Da die Einfallswinkel der Strahlen an der brechenden Fläche immer sehr klein sein sollen, mus ca ein sehr kleiner Bogen sein, den wir annähernd als eine auf die Achse senkrechte grade Linie betrachten können. Wir setzen also: ac einmal $= f'\, tg\, \alpha_1$ und das anderemal $= -f''\, tg\, a_2$; also auch $f''\, tg\, a_2 = f'\, tg\, \alpha'\, (A)$. — Nach 1^{d} war nun $\frac{f''}{f'} = \frac{F''}{f'-F''} = \frac{f''-F''}{F'}$, nach 2^{b} war $\frac{\beta''}{\beta'} = \frac{F'}{F'-f'} = \frac{F''-f''}{F''}$, und nach 1^{a} und 1^{b} war $\frac{F''}{f'} = \frac{n''}{n'}$ daraus folgt $\frac{f''}{f'} = -\frac{n''}{n'} \cdot \frac{\beta^2}{\beta'}$. Dieses in die Gleichung A gesetzt, gibt $\left. n'\, \beta'\, tg\, a' = n^2\, \beta^2\, tg\, a^2 \right\} 3.$

5. Bevor nun dazu geschritten werden kann, die Cardinalpunkte in einem System von centrirten brechenden Kugelflächen aufzusuchen, muss zuerst der Beweis geliefert

werden, dass die so eben entwickelten Gesetze auch auf ein solches System anwendbar sind. Dieser Auseinandersetzung ist folgendes vorauszuschicken.

Vorn nennen wir in Bezug auf das System die Seite, von der das Licht kommt, hinten die, wo es hingeht. Die brechende Fläche, welche das Licht zuerst trifft, ist die erste, das Medium, welches vor der ersten brechenden Fläche gelegen ist, das erste, das welches hinter der letzten liegt, das letzte; wenn wir m brechende Flächen haben, so haben wir $m+1$ brechende Medien; es sei n_1 das Brechungsverhältniss des ersten, n_2 das des zweiten und so fort bis $n\,m+1$ das des letzten Mittels. Wie gewöhnlich gelten die Radien der brechenden Flächen für positiv, wenn deren Convexität nach vorn, negativ, wenn sie nach hinten sieht. Auch gilt ein und für allemal, dass, wenn von einem Strahlencentrum oder Bilde gesprochen wird, welches in einem gewissen Mittel liege oder diesem angehöre, darunter auch stets der Fall mitverstanden ist, wo das Bild potentiell ist und erst durch Verlängerung der Strahlen über die Grenzen des Mittels hinaus entstehen würde.

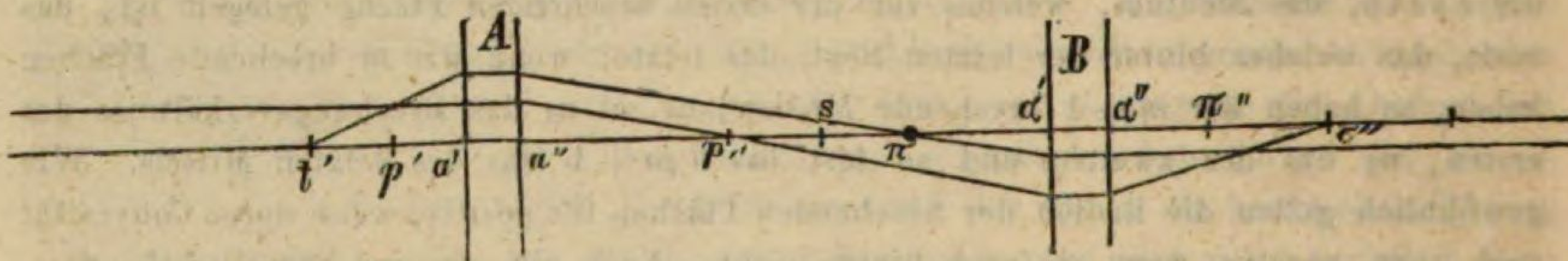
Ferner halten wir fest, dass homozentrische Strahlen, welche unter kleinen Einfallswinkeln auf kugelige brechende Flächen fallen, homozentrisch bleiben; daraus folgt, dass homozentrische Strahlen, welche unter kleinen Winkeln gegen die Achse in das optische System eintreten, nach jeder Brechung homozentrisch bleiben und ebenso aus der letzten brechenden Fläche wieder austreten. Wenn das einfallende Licht einer Anzahl von Vereinigungspunkten angehört, welche alle in einer auf der optischen Achse senkrechten Ebene liegen, so wissen wir ferner, dass nach der ersten Brechung die Vereinigungspunkte wieder alle in einer auf der optischen Achse senkrechten Ebene liegen und ihre Vertheilung der frühern geometrisch ähnlich ist. So wird es also auch nach jeder folgenden Brechung sein, und auch das letzte Bild wird dem ursprünglichen geometrisch ähnlich sein und wie dieses in einer auf die optische Achse senkrechten Linie liegen.

Indem man nun das Bild, welches von der ersten brechenden Fläche entworfen wird, als den Gegenstand für die zweite betrachtet u. s. w., kann man schliesslich Grösse und Lage des letzten berechnen. Abgesehen davon, dass aber die zur Berechnung nothwendigen Formeln sehr bald ungemein weitläufig werden, sind sie auch auf das Auge nicht anwendbar, da die Linse desselben aus einer ungezählten Menge von brechenden Flächen besteht. Alle diese Schwierigkeiten umgeht Helmholtz, indem er nachweist, dass gewisse Grundformeln, die so eben für einfache brechende Flächen bewiesen wurden, auch für optische Systeme gelten. Namentlich zeigt er, dass das unter 1^c^ aufgestellte Gesetz, ebenso wie die Folgerungen aus 1^a^ und 1^b^ nämlich $\frac{F'}{F''} = \frac{n'}{n''}$ und $\frac{G'}{G''} = \frac{n''}{n'}$ auch für Combinationen von brechenden Flächen bestehen. Indem wir es unterlassen, die Beweise dieser Sätze, zu denen er sehr sinnreich die Gleichung 3 benutzt, auszuschreiben, geben wir noch die Methoden an, nach welchen die Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte eines aus zwei andern zusammengesetzten centrirten Systems brechender Kugelflächen gefunden werden können.

Es seien gegeben (Fig. 49) zwei centrirte optische Systeme A und B, welche dieselbe Achse haben; es seien p' und p'' die beiden Brennpunkte, a' und a'' die beiden Hauptpunkte des Systems A; π' und π'' die beiden Brennpunkte, α' und α'' die beiden Hauptpunkte von B. Der Abstand des ersten Hauptpunktes α' des zweiten Systems vom zweiten a'' des ersten Systems sei d und dieses werde positiv gerechnet,

wenn wie in der Figur a' hinter a'' liegt. Die Hauptbrennweiten des ersten Systems $a'p'$ und $a''p''$ sind bezeichnet mit f' und f'' und die des zweiten Systems $\alpha'\pi'$ und $\alpha''\pi''$ mit φ' und φ''. —

Fig. 49.



Der erste Brennpunkt des combinirten Systems ist offenbar das Bild, welches das System A vom ersten Brennpunkt π' des Systems B entwirft. Ist t' dieser Punkt, so ist klar, wie auch durch den in der Figur von t' aus gehenden Strahl angedeutet ist, dass Strahlen, welche von t' ausgehen, nach der Brechung im ersten System in π' sich vereinigen und nach der Brechung im zweiten parallel der Achse werden müssen, so dass also t' der Definition des vorderen Hauptbrennpunktes entspricht. Die Entfernung $a''\ \pi'$ ist gleich $d - \varphi'$, daraus ergibt sich nach 1^d für $a'\,t'$ der Werth

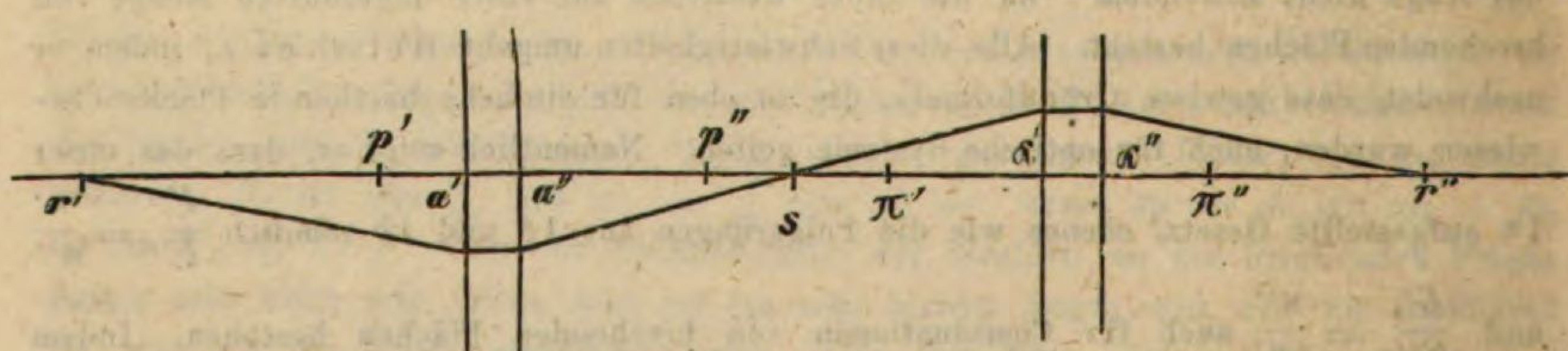
$$a'\ t' = \frac{(d-\varphi')\,f'}{d-\varphi'-f''} \Bigg\} \quad 4^a.$$

Auf ganz analoge Weise ist der zweite Brennpunkt des combinirten Systems das Bild, welches das zweite System B von dem zweiten Brennpunkt p'' des ersten Systems entwirft. Es sei t'' der Ort dieses Bildes, so ist

$$\alpha''\ t'' = \frac{(d-f'')\,\varphi''}{d-\varphi'-f''} \Bigg\} \quad 4^b.$$

Die beiden Hauptpunkte des combinirten Systems sollen jeder das andere Bild sein und zwar bezieht sich der erste auf den Gang der Strahlen im ersten, der zweite auf den Gang der Strahlen im letzten Medium. Die beiden Hauptpunkte müssen daher ein beiden gemeinsames Bild im mittleren Medium haben, was zwischen den beiden optischen Systemen vorhanden ist. Es sei dieses Bild s (in Fig. 50), r' und

Fig. 50.



r'' dagegen die Hauptpunkte des combinirten Systems. Wenn s das Bild von r' und r'' das Bild von s ist, so ist auch r'' das Bild von r' und der ersten Bedingung für die beiden Hauptpunkte geschieht dadurch Genüge. — Die zweite Bedingung für diese Punkte ist die, dass zusammengehörige Bilder in den Hauptebenen gleich gross und gleich gerichtet seien. Es sei nun σ die Grösse eines Objekts in s, β' sein Bild entworfen vom System A in r', β'' sein Bild entworfen vom System B in r'' und x gleich der Länge a'' s und $y = s\,\alpha'$, so ist, weil, wie Helmholtz bewiessen, die für eine brechende Fläche giltigen Ausdrücke 2^b auch für ein System von solchen anwendbar sind,

$$\frac{\beta'}{\sigma'} = \frac{f''}{f''-x} \text{ und } \frac{\beta''}{\sigma} = \frac{\varphi'}{\varphi'-y}.$$

Soll $\beta' = \beta''$ sein, so ist $\frac{f''}{f''-x} = \frac{\varphi'}{\varphi'-y}$ oder $\frac{x}{f''} = \frac{y}{\varphi'}$ oder

$$\left.\frac{a''s}{a''p''} = \frac{\alpha' s}{\alpha' \pi'}\right\} 5.$$

Um also den Punkt im mittlern Medium zu finden, dessen Bilder die beiden Hauptpunkte sind, theile man die Entfernung zwischen den einander zugewendeten Hauptpunkten der beiden Systeme (a'' und α') in zwei Theile, welche sich verhalten wie die zu diesen Hauptpunkten gehörigen Hauptbrennweiten der beiden Systeme.

$x + y = d$ ist nach 5 $\frac{x}{f''} = \frac{d-x}{\varphi'}$; $\frac{d-y}{f''} = \frac{y}{\varphi'}$.

Daraus folgt $x = \frac{d f''}{\varphi' + f''}$ und $y = \frac{d \varphi'}{\varphi' + f''}$.

Aus dem Werthe von x findet man die Entfernung $a' r' = h'$ des ersten Hauptpunktes des combinirten Systems **vor** dem ersten Hauptpunkte des Systemes A.

$$\left.h' = \frac{x f'}{x - f''} = \frac{d f'}{d - \varphi' - f''}\right\} 5^{a}.$$

Ebenso die Entfernung $a'' r'' = h''$ des zweiten Hauptpunktes des combinirten Systems **hinter** dem zweiten Hauptpunkt des Systemes B.

$$\left.h'' = \frac{\varphi'' y}{y - \varphi'} = \frac{d \varphi''}{d - \varphi' - f''}\right\} 5^{b}.$$

Um nun die Entfernung der Hauptbrennweite F' und F'' des combinirten Systems von seinen Hauptpunkten zu bestimmen, so wird

$$F' = a' t - a' r' = \frac{\varphi' f'}{\varphi' + f'' - d} \text{ und } F'' = a'' t'' - a'' r'' = \frac{\varphi'' f''}{\varphi' + f'' - d}.$$

Hat man die Haupt- und Brennpunkte gefunden, so ergeben sich die Knotenpunkte sehr leicht, da der Abstand des ersten Knotenpunktes vom ersten Brennpunkte gleich ist der zweiten Hauptbrennweite, und der Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkte gleich der ersten Hauptbrennweite. Helmholtz gibt jedoch auch ein besonderes Verfahren an, die Knotenpunkte aufzufinden, was darauf hinausläuft, dass man von den Knotenpunkten der Systeme ausgeht, sonst aber verfährt wie zur Aufsuchung der Hauptpunkte.

Wir beschliessen diesen Auszug aus der Arbeit von Helmholtz mit der physiologisch wichtigen Bemerkung: „Da die Resultate der Brechung in einem optischen System, was Grösse und Lage der Bilder anlangt, nur von der Lage der Brenn- und Hauptpunkte (oder Knotenpunkte) abhängen, so kann man ohne Aenderung der Lage und Grösse der Bilder zwei optische Systeme für einander substituiren, deren Brenn- und Hauptpunkte dieselbe Lage haben. Da das Brechungsverhältniss des ersten und letzten Mittels nicht geändert werden kann, ohne das Verhältniss der Hauptbrennweiten zu einander zu ändern, so wollen wir voraussetzen, dass bei einer solchen Substitution das erste und letzte Mittel ungeändert bleibe; dann braucht nur die eine Hauptbrennweite und der Abstand der

Hauptpunkte von einander in dem einen System gleich den entsprechenden Grössen des andern gemacht zu werden, um die beiden Systeme für einander substituiren zu können. In einem System von nur zwei brechenden Flächen würde man zur Erfüllung dieser Bedingungen aber 4 Grössen, die beiden Krümmungshalbmesser (r' und r''), den Brechungsexponenten des zweiten Medium (n'') und den Abstand der brechenden Flächen (d), bestimmen können. Es kann daher für jedes centrirte System brechender Kugelflächen ein System von nur zwei solchen Flächen gesetzt werden, welches eben so grosse und eben so gelegene Bilder entwirft, wie jenes, und im Allgemeinen kann man dabei sogar noch immer zwei andere Bedingungen für das System von zwei Flächen aufstellen.

2. Allgemeinste Aufgabe des physiologischen Brechungsapparates.

Die brechenden Werkzeuge des Auges zählen zu denjenigen, welche befähigt sind, von einem System von leuchtenden Punkten umgekehrte, an Form und Farbe ähnliche Bilder zu entwerfen. Diese Bilder leuchtender Objekte werden jedoch nur unter der einen Bedingung von physiologischer Wichtigkeit, dass sie auf die Retina fallen, weil sie nämlich nur dann zum deutlichen Sehen der abgebildeten Gegenstände benutzt werden können. Nun lässt aber die Theorie der Instrumente, nach deren Muster die Brechungsapparate des Auges gebaut sind, erwarten, dass bei unveränderlichen optischen Eigenschaften derselben, auch nur Strahlen von ganz bestimmter Convergenz oder, was dasselbe sagt, leuchtende Punkte, die in ganz bestimmter Entfernung vom Auge liegen, auf der Retina vereinigt werden können. Daraus folgt die Alternative, dass sich entweder nur Gegenstände, die in einer ganz bestimmten Entfernung liegen, auf der Retina abbilden können, oder dass die brechenden Eigenschaften unseres Auges veränderlich sein müssen, wenn nämlich in zeitlicher Reihenfolge Bilder von verschieden entfernten Gegenständen auf der Retina zu Stande kommen sollen. In der That ist im Auge die letzte Aufgabe gelöst, sodass, wie jetzt gezeigt werden soll, folgende Sätze gelten: Ein deutliches Sehen ist nur dann möglich, wenn das zu betrachtende Objekt ein deutliches Bild auf der Retina entwirft, und weiter, das Auge kann zwar Gegenstände von verschiedener Entfernung scharf abbilden, aber es kann jedesmal nur ein Bild eines ganz bestimmt enfernten Gegenstandes gewinnen, sodass, wenn es nach Art der Fernröhre für eine Entfernung eingestellt ist, nur die

in dieser, keineswegs aber die in andern Abständen liegenden Gegenstände deutlich abbildet resp. sieht.

Helmholtz*) hat ein eben so einfaches als sinnreiches Mittel, den Augenspiegel, erdacht, mit dem man sich, ausser vielen andern, auch von der Richtigkeit der eben ausgesprochenen Behauptungen überzeugen kann.

Durch diesen Spiegel ist Jedermann nach einiger Uebung im Stande, die Retina eines andern lebenden Menschen genau zu betrachten, und sowohl die ihr zugehörigen Formen, als auch unter günstigen Umständen die auf ihr entworfenen Bilder äusserer Gegenstände scharf aufzufassen. Führt man die Betrachtung einer lebenden Retina mit Berücksichtigung der auf ihr entworfenen Bilder äusserer Gegenstände aus, so gewahrt man, dass, wenn ein äusseres Objekt auf der Retina des beobachteten Auges sich scharf abbildet, jedes ferner oder näher liegende sich nicht deutlich darstellt. Zugleich aber ergibt sich, dass es dem Auge möglich wird zu verschiedenen Zeiten auf dieselben Stellen der Sehhaut Gegenstände sehr verschiedener Entfernung genau abzubilden; hierbei tritt aber der wohl zu merkende Umstand ein, dass das ursprünglich deutliche Bild seine Schärfe verliert, so wie dasjenige eines entfernteren oder näheren Gegenstandes zum Vorschein kommt, selbst wenn die Richtung der Sehachse zum ersten Objekt unverändert bleibt, so dass zu jeder Zeit die Strahlen desselben in das Auge gelangen können.

Aus allen diesem folgt nun, dass das brechende System des Auges in einem bestimmten Zustand (unveränderlich gedacht) nur von den Leuchtpunkten Bilder auf der Retina zu entwerfen vermag, welche sich in einer ganz bestimmten Entfernung von dem Auge finden; zugleich aber dass die Zustände des brechenden Systems in der Art veränderbar sind, dass auch Gegenstände sehr verschiedener Entfernung auf der Retina abgebildet werden können.

Diese letztere Eigenschaft, welche das Auge mit vielen künstlichen Linsensystemen theilt, nennt man das Einrichtungs-, oder Accomodationsvermögen des Auges.

Die Pupille des Auges erscheint bekanntlich vollkommen schwarz, obwohl sehr beträchtliche Lichtmassen, welche im Innern des Auges gespiegelt werden, aus ihr

*) Helmholtz, Beschreibung eines Augenspiegels. Berlin 1851.

treten. Der Grund dieses scheinbar paradoxen Verhaltens ist aber durch einen Blick auf Fig. 51 klar, welche zeigt, dass alle Strahlen, welche vom leuchtenden Punkt *A* ausgehend in dem Auge bei *A'* zusammengebrochen und dann von hier gespiegelt das Auge verlassen, auch im Raum wieder bei *A* zusammengelenkt werden. Der Retinapunkt *A* und alle übrigen senden also das gespiegelte Licht immer nach dem Ort, von dem aus sie erleuchtet werden, und somit würde bei gewöhnlichem Gange der Lichtstrahlen uns die Pupille eines Andern nur dann hell erscheinen, wenn die Erleuchtung der Retina des Andern von unserm Auge ausginge. Hält man dagegen (Fig. 52) vor das Auge einen unbelegten Spiegel (eine Glasplatte) *SS* in der bezeichneten oder in einer ähnlich geneigten Stellung und bringt einen leuchtenden Gegenstand bei *L* an, so werden die von *L* ausgehenden und auf *SS* fallenden Strahlen zum Theil durch die Platte den Weg der getüpfelten Linien nehmen, zum Theil aber gegen das Auge *AA* reflectirt und von diesem nach *R* gebrochen werden. Die bei *R* vereinigten Strahlen werden nun in der Richtung wieder nach aussen geworfen, in der sie eintraten, und von Neuem auf der Glasplatte anlangen. Ein Theil derselben wird nach *L* zurückgehen, ein anderer aber durch das Glas dringen und bei *B* zur Vereinigung kommen. An diesen Ort muss nun der Beobachter, welcher den Bildpunkt *R* im Auge *AA* sehen will, seine Retina bringen. Würde er aber zu diesem Behuf sein Auge unmittelbar in den Strahlenkegel zwischen *B* und die Platte führen, so müsste er, wie dieses in der That zuweilen vorkommt, ein besonders glücklich gebautes Auge haben, um die Vereinigung der an und für sich schon convergirenden Strahlen auf der Retina erfolgen zu lassen. Darum ist es meist noch nothwendig, in den Gang der Strahlen die zerstreuende Linse *KK* einzufügen, wodurch dieselben aus dem convergirenden in den parallelen oder divergirenden Verlauf gebracht und dann durch das beobachtende Auge wieder zusammengebrochen werden. Durch diese Mittel gelingt es, nicht allein den Punkt *R* zu sehen, sondern noch mehr, man gewahrt ihn auch vergrössert, indem das vor *R* gelegene convexe Linsensystem des beobachteten Auges ungefähr wie ein 24mal vergrösserndes Glas wirkt. Die Theorie und das Genauere des Baues dieses auch für ärztliche Zwecke wichtigen Instrumentes siehe bei Helmholtz in der citirten Schrift*), wo auch der freilich nicht vollkommen gelungenen Versuche früherer Zeiten gedacht ist.

Fig. 51.

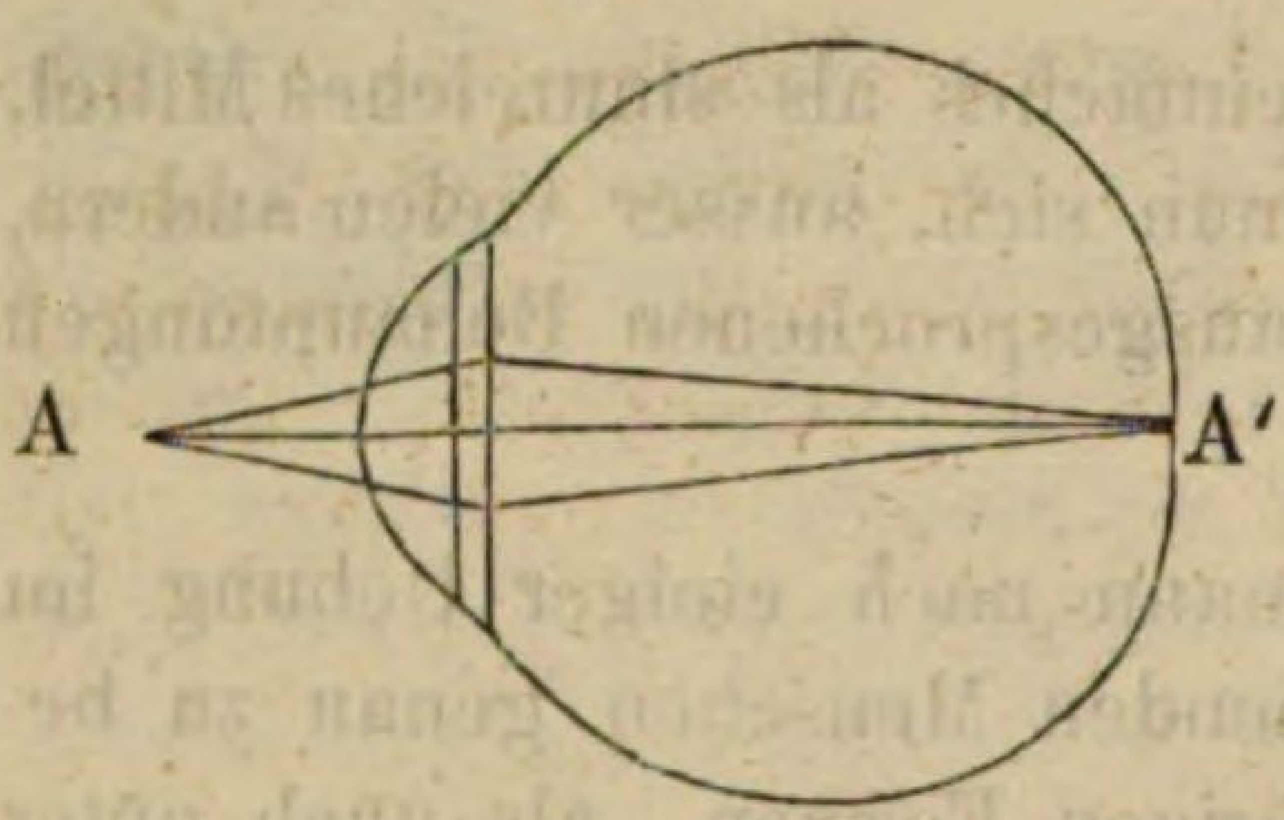
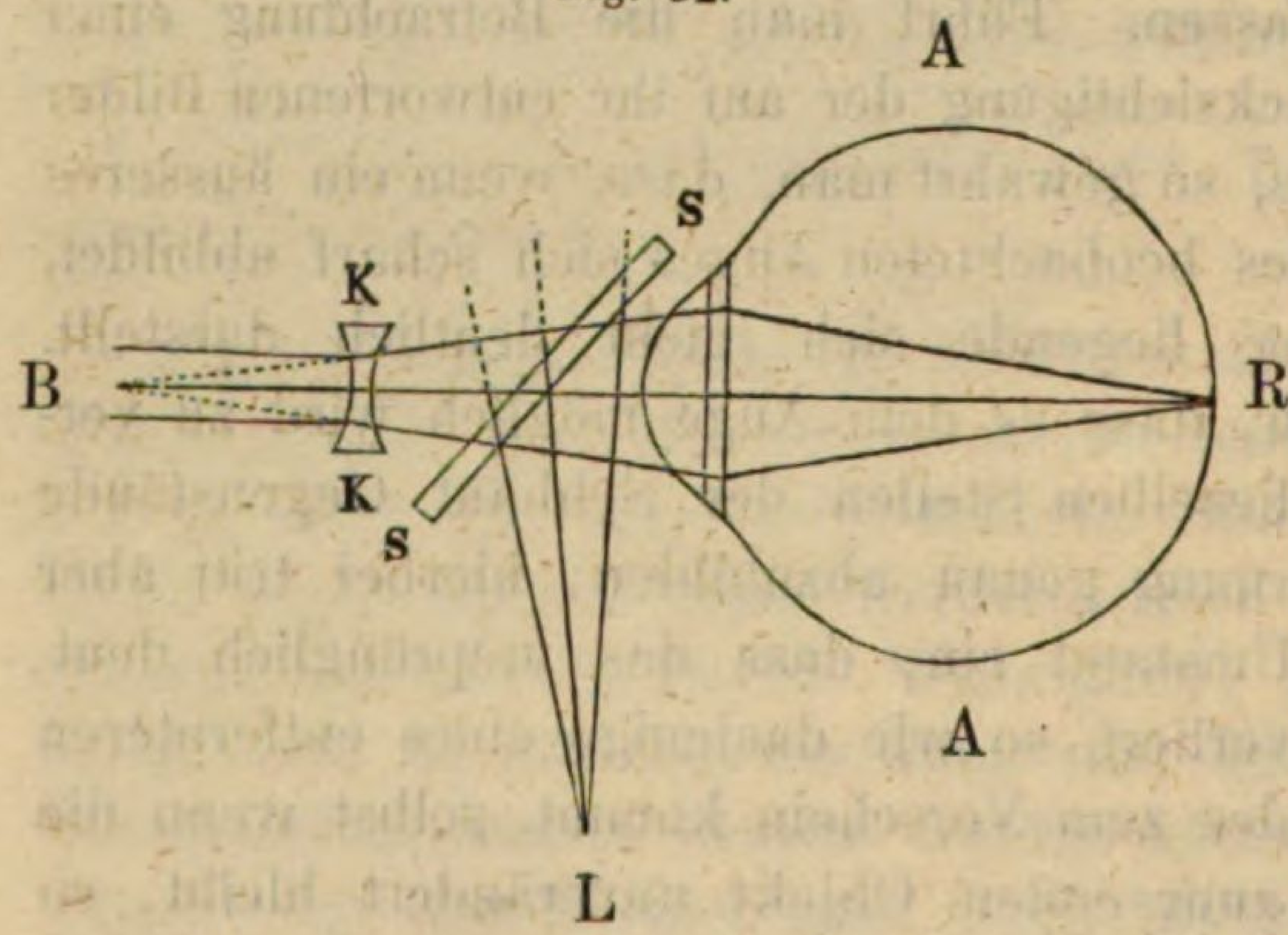


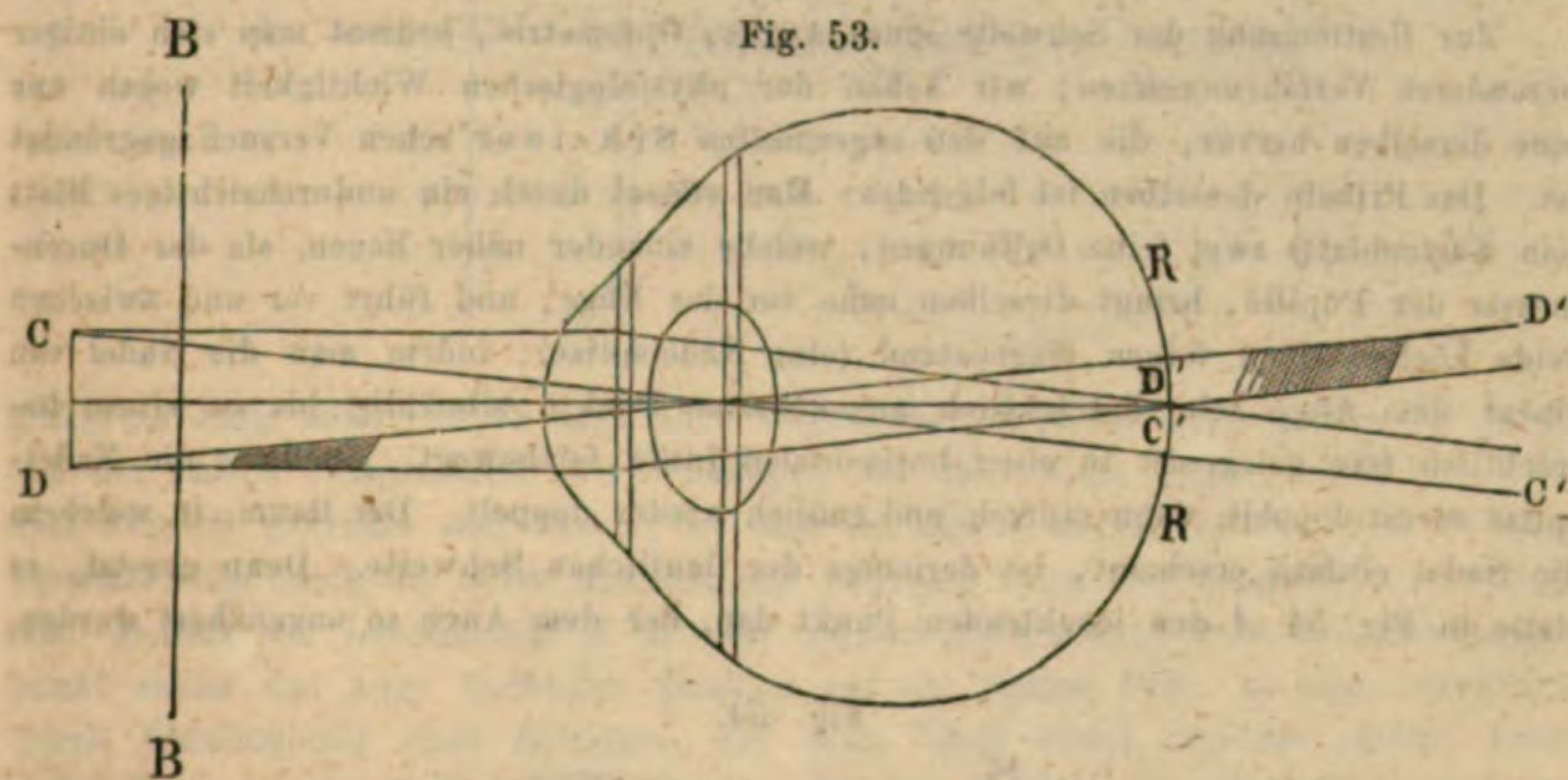
Fig. 52.



*) Physiolog. Optik p. 189.

Der Zeitraum, in welchem der Beobachter mittelst des Augenspiegels auf der Retina ein deutliches Bild des leuchtenden Gegenstandes bemerkt, trifft nun mit demjenigen zusammen, in welchem das beobachtete Auge den Gegenstand scharf wahrnimmt. Daraus folgt unmittelbar, dass ein Gegenstand nur dann deutlich geschehen werde, wenn er ein scharfes Bild auf der Retina entwirft. Die Nothwendigkeit dieses Zusammenhanges lässt sich nun auch noch anderweitig darthun*).

Fig. 53.



Nehmen wir an (Fig. 53), es sende ein unmittelbar vor der vorderen Hauptbrennebene *BB* gelegener Gegenstand die Strahlenbüschel *CC'C''* und *DD'D''* aus, so werden sie, vorausgesetzt, dass für parallele Strahlen die hintere Brennebene des Auges auf der Retina *RR* gelegen sei, weit hinter der letztern ihre Vereinigung finden. Die Punkte *C* und *D* des Gegenstandes *CD* werden demnach auf der Retina durch Kreise — die Zerstreuungskreise — dargestellt. In demselben Falle werden sich nun auch alle zwischen *D* und *C* gelegenen Punkte des Gegenstandes *CD* finden. Je nach der Grösse des Durchmessers der Zerstreuungskreise würden sich also die Bilder einer mehr oder weniger grosser Anzahl neben einander liegender Punkte decken, mit andern Worten, es werden verschiedene Stellen des Gegenstandes auf dieselben Flächen der Retina ihre Strahlen senden. Dieses bedeutet aber nichts anderes, als dass die kleinen und gedrängt liegenden empfindenden Elemente der Sehhaut gleichzeitig von verschiedenen Orten Eindrücke empfangen, welche, indem sie sich gegenseitig stören, ein undeutliches Sehen erzeugen; offenbar wird also mit der Grösse der Zerstreuungskreise auch die Undeutlichkeit des Sehens wachsen; nimmt dagegen der Umfang der Zerstreuungskreise bis auf einen gewissen Werth ab, so dass derselbe die Grösse eines empfindenden Netzhautelements nicht mehr überschreitet, so wird durch noch weiter fortschreitende Verkleinerung desselben das deutliche Sehen nicht mehr gefördert.

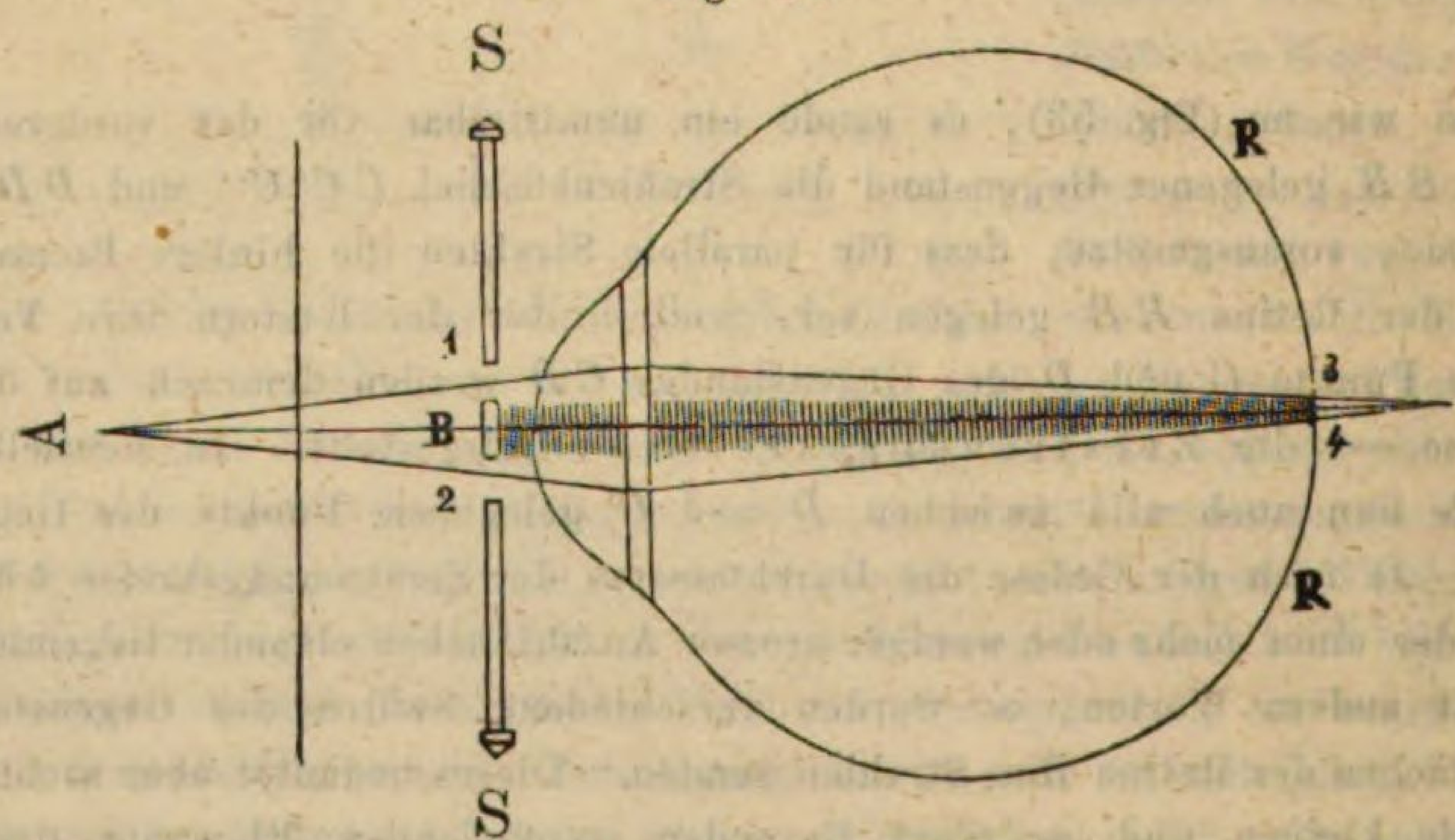
Die Fähigkeit des Auges sich in zeitlicher Folge für Gegenstände verschiedener Entfernung einrichten zu können, ist keine

*) Volkmann. Neue Beiträge etc. 105 u. f.

unbeschränkte, indem auch die besten Augen Gegenstände, die diesseits und die meisten solche, die jenseits gewisser Entfernungen liegen, nicht mehr deutlich aufzufassen vermögen. Der Raum, innerhalb dessen sich die Gegenstände bewegen dürfen, damit von ihnen der dioptrische Apparat des Auges noch scharfe Bilder auf die Retina entwerfen könne, führt den Namen der deutlichen Sehweite; die Grenzpunkte dieses Raumes heissen Nähe- und Fernpunkte.

Zur Bestimmung der Sehweite eines Auges, Optometrie, bedient man sich einiger besonderen Verfahrungsarten; wir heben der physiologischen Wichtigkeit wegen nur eine derselben hervor, die auf den sogenannten Scheiner'schen Versuch gegründet ist. Das Prinzip desselben ist folgendes: Man stösst durch ein undurchsichtiges Blatt (ein Kartenblatt) zwei feine Oeffnungen, welche einander näher liegen, als der Durchmesser der Pupille, bringt dieselben nahe vor das Auge, und führt vor und zwischen beide Löcher einen feinen Gegenstand (eine Nadelspitze); indem man die Nadel von einem dem Auge sehr beträchtlich angenäherten Punkte allmählig bis zu einem beträchtlich fern gelegenen in einer horizontalen Linie fortbewegt, erscheint die Nadelspitze zuerst doppelt, dann einfach und endlich wieder doppelt. Der Raum, in welchem die Nadel einfach erscheint, ist derjenige der deutlichen Sehweite. Denn gesetzt, es stelle in Fig. 54 *A* den leuchtenden Punkt dar, der dem Auge so angenähert worden,

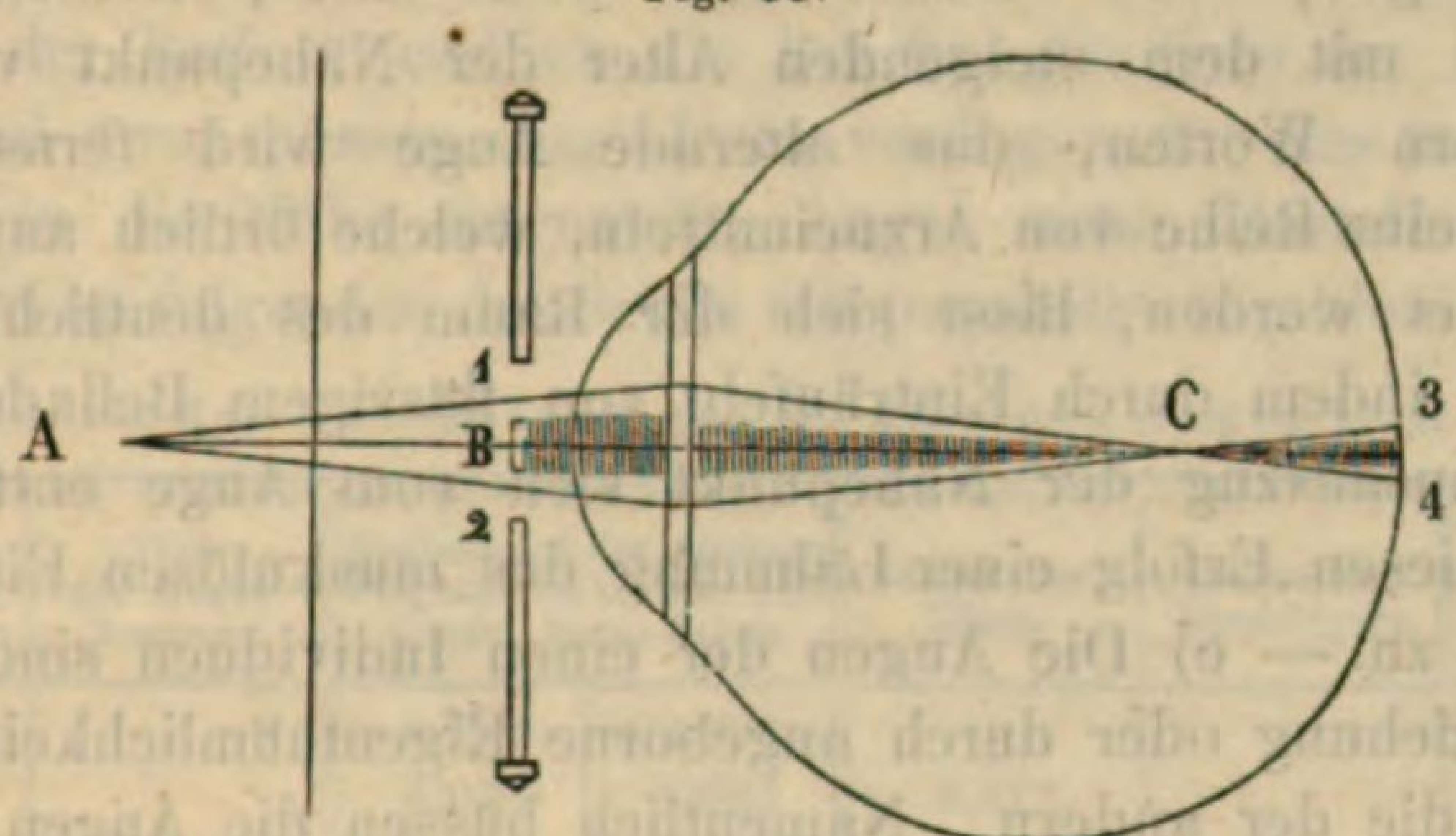
Fig. 54.



dass die Vereinigung seiner Strahlen erst weit hinter der Retina *R R* zu Stande komme, so wird er durch den Zerstreuungskreis 3 4 auf der letztern dargestellt werden. Wird nun in das Strahlenbüschel *A* 1 2 der von zwei Oeffnungen 1 2 durchbrochene Schirm *S S* gehalten, so werden auch nur zwei, diesen Oeffnungen entsprechende Abtheilungen des Strahlenbüschels auf die Retina fallen, während die mittlern Strahlen, durch das Stück des Schirmes *B* aufgefangen, einen Schatten dieses letztern auf die Retina werfen. Ist dagegen (Fig. 55) der leuchtende Punkt *A* in eine solche Entfernung gelegt, dass die von ihm auf das Auge fallenden Strahlen sich schon vor der Retina in *C* vereinigen, so werden sie, nachdem sie im Vereinigungspunkt sich gekreuzt haben, auseinander fahren, und abermals den Zerstreuungskreis 3 4 auf der Retina bilden.

Werden nun auch in diesem Strahlenkegel durch den Schirm *SS* in der früheren Weise die mittleren Strahlen abgehalten, so werden sich bei *C* auch nur zwei Strahlenbüschel kreuzen können, welche bei 3 und 4 die Retina erleuchten. — Die beiden vor-

Fig. 55.



geführten Fälle unterscheiden sich darin voneinander, dass in dem ersteren die Bilder auf der Retina entsprechend den Oeffnungen vor dem Auge liegen, während sie in dem zweiten gekreuzt sich finden, so dass das untere Retinabild von den Strahlen herrührt, die durch die obere Oeffnung des Schirmes fielen und umgekehrt. — Liegt aber endlich der Leuchtpunkt *A* in einer solchen Entfernung, dass der Kreuzungspunkt seiner das Auge treffenden Strahlen auf die Retina fällt, so kann begreiflich durch Einschiebung eines Schirmes, der einen Theil dieser Strahlen abhält, keine andere Folge erzeugt werden als die, dass das Bild auf der Retina lichtschwächer erscheint.

Gegen die Benutzung dieses Verfahrens zu praktischen Zwecken erheben Czermak und Th. Weber den beachtenswerthen Einwand, dass man durch enge Löcher oder Spalten immer mangelhaft accommodire. — Bei Helmholtz l. c. p. 101 sind anderweite optometrische Verfahrungsarten nachzusehen. Unter denen, welche auf das Scheiner'sche Prinzip gegründet sind, dürfte sich am meisten der Stampfer'sche Optometer empfehlen, in welchen statt des dunklen Objekts eine beleuchtete Spalte in einem dunklen Schirm dem Auge genähert wird.

Die Weite des deutlichen Sehens, und nicht minder die Entfernung ihrer Grenzen von der Cornea bei annähernd gleicher Weite wechselt für ein und dasselbe Auge mit den Umständen und unter annähernd gleichen Bedingungen mit den Augen. So heben wir z. B. hier hervor, dass a) der Nähepunkt nach H. Meyer*) an das Auge um einige Millimeter heranrückt, wenn man dasselbe von aussen nach innen richtet. Auf die möglichen Gründe dieser Erscheinung werden wir alsbald eingehen. b) Die Entfernung der Grenzpunkte der deutlichen Sehweite der beiden Augen ein und desselben Individiums ist sehr häufig eine verschiedene, in der Art, dass von den beiden Augen das eine

*) Henle und Pfeufer V. Bd. 388 (1846).

fernsichtiger ist, als das andere. — c) Die Ausdehnung der deutlichen Sehweite sowohl, als die Entfernung ihres Nähepunktes von der Cornea wechselt bei demselben Individium während und durch Anstrengungen, und ebenso mit dem Alter, namentlich entfernt sich mit dem steigenden Alter der Nähepunkt vom Auge; mit andern Worten, das alternde Auge wird fernsichtig. — d) Durch eine Reihe von Arzneimitteln, welche örtlich auf das Auge angewendet werden, lässt sich der Raum des deutlichen Sehens einengen, indem durch Einträufeln von flüssigem Belladonna- und Hyoscyamusauszug der Nähepunkt sich vom Auge entfernt; man schreibt diesen Erfolg einer Lähmung des muskulösen Einrichtungsapparates zu. — e) Die Augen der einen Individuen sind entweder durch Erziehung oder durch angeborne Eigenthümlichkeit kurzsichtiger, als die der andern. Namentlich büssen die Augen durch anhaltendes und oft wiederkehrendes Betrachten naher Gegenstände die Fähigkeit ein, sich für ferne Gegenstände einzurichten (Kurzsichtigkeit), während umgekehrt nach lange Zeit fortgesetztem Sehen in die Ferne das Auge in einen Zustand geräth, in welchem stark divergirende Strahlen ihren Brennpunkt nicht mehr auf der Retina, sondern hinter derselben finden (Fernsichtigkeit*)).

Diese Mittheilungen zeigen, dass es unthunlich sei, allgemein giltige Angaben über die Sehweite des menschlichen Auges zu machen. Augen, denen das Einrichtungsvermögen im hohen Grade zukommt, sind im Stande auf die Retina ein scharfes Bild eines Leuchtpunktes zu entwerfen, der nur um 80 bis 100 M.M. von der Cornea entfernt ist, dessen Strahlen also sehr divergirend am Auge anlangen, und nicht minder vermögen sie auch am bezeichneten Ort die Strahlen eines Lichtpunktes zu vereinigen, welche durch eine zwischen letztern und das Auge eingeschobene Convexlinse schwach convergirend gemacht worden sind (Th. Weber**)). Um einen Ausgangspunkt für die Verständigung zu gewinnen, nehmen wir vorläufig an, dass das normale Auge im natürlichen Zustande für parallele Strahlen eingerichtet sei; die Einrichtung desselben für divergirende Strahlen nennt man unter dieser Voraussetzung die positive und die für convergirende die negative Accommodation.

Bevor wir die weiteren dioptrischen Leistungen des Auges verfolgen, wollen wir erst die schon mitgetheilten erläutern.

*) Holke, Disquisito de acie oculi u. s. w. Siehe in Valentin's Lehrbuch der Physiologie II. Bd. 3. Abtheilung 250.

**) Archiv für physiolog. Heilkunde XIV. 479.

3. Die optischen Constanten des Auges.

Wenn die Brechungserscheinungen des Auges abgeleitet werden sollen, so müssen gegeben sein: die Krümmungsradien der brechenden Flächen, die Entfernungen dieser letztern von einander und von der Retina, endlich die Brechungsindices der brechenden Mittel, und zwar müssen diese Data vorliegen für das in die Ferne und das in die Nähe eingestellte Auge; unter Einstellung für die Ferne wird im folgenden das Sehen mit parallelen Strahlen verstanden.

Dimensionen der durchsichtigen Medien des Auges in Millimeter.

	Dicke d. Hornhaut in ihrer Mitte.	Tiefe der Augenkammer.	Entfernung der vordern Flächen von Cornea und Linse. Beim Sehen		Achse der Linse.	Achse des Glaskörpers.	Beobachter.
			in d. Ferne.	in d. Nähe.			
1.			4,024	3,664	3,413		Helmholtz.
2.			3,597	3,157	3,801		Helmholtz.
3.			3,738		3,555		Helmholtz.
1.	1,128	2,481	3,609		6,993	10,827	Krause d. ä.
2.	0,902	2,707	3,609		4,512	15,001	Krause d. ä.
3.	0,790	3,045	3,735		4,285	15,340	Krause d. ä.
4.	0,902	2,819	3,721		5,414	13,760	Krause d. ä.
5.	0,902	3,045	3,947		4,963	13,310	Krause d. ä.
6.	0,128	2,819	3,947		4,173	14,437	Krause d. ä.
7.	1,083	2,707	3,790		5,301	13,526	Krause d. ä.
8.	1,186	2,226	3,412		4,060	15,001	Krause d. ä.
9.	1,128	2,226	3,354		4,173	14,775	Krause d. ä.

Krümmungshalbmesser der brechenden Flächen in Millimeter.

	Des Corneascheitels im horizontalen Schnitt der Vorderfläche. Beim Sehen	Der vorderen Linsenfläche. Beim Sehen		Der hinteren Linsenfläche. Beim Sehen		Beobachter.
	in d. Ferne u. d. Nähe.	in d. Ferne.	in d. Nähe.	in d. Ferne.	in d. Nähe.	
1.	7,338	11,9	8,8	5,83	etwas kleiner	Helmholtz.
2.	7,646	8,6	5,9	5,13	etwas kleiner	Helmholtz.
3.	8,154					Helmholtz.
	7,794					Senff.
	7,87					Kohlrausch.
1.		5,639		3,618		Krause d. ä.
2.		9,971		5,064		Krause d. ä.
3.		9,926		5,628		Krause d. ä.
4.		7,919		5,628		Krause d. ä.
5.		8,617		5,087		Krause d. ä.
6.		12,731		5,448		Krause d. ä.
7.		8,752		5,109		Krause d. ä.
8.		9,774		4,613		Krause d. ä.
9.		9,587		4,275		Krause d. ä.

Zu den vorstehenden Zahlen gehören noch einige Bemerkungen. a) Vordere Hornhautfläche. In der obigen Tabelle sind aus naheliegenden Gründen nur die Angaben berücksichtigt, welche durch Messung am lebenden Auge gewonnen wurden. In den von Helmholtz gemessenen Augen gehört die vordere Hornhautfläche einem Ellipsoid an, das durch Umdrehung um die grosse Achse entstanden ist. Der Scheitel desselben fällt in die Mitte der Hornhaut, die Basis der Hornhaut ist eine auf der grossen Achse senkrechte Ebene. In den drei von ihm gemessenen Augen wichen die Parameter der Ellipsen sehr beträchtlich von einander ab, während die Krümmungshalbmesser des Scheitels in diesen, wie in den von Senff und Kohlrausch gemessenen Augen, sich annähernd gleich verhielten. In der That ist auch der Scheitel derjenige Theil, welcher zum Entwerfen scharfer Bilder vorzugsweise benutzt wird. Senff fand dagegen, dass der von ihm gemessene Hornhautscheitel nach der horizontalen und vertikalen Richtung zwar annähernd gleich gekrümmt war, dass dagegen die Ellipse, die auf dem ersten Durchschnitt erhalten wurde, grössere Parameter besass, als die vertikale. Wir werden später sehen, dass dieses häufig vorkommen muss. — Wie oben angemerkt wurde, so stimmen alle Beobachtungen am lebenden Auge darin überein, dass die Krümmung der Hornhaut sich bei den Accomodationen für verschiedene Entfernungen nicht ändert; die Krümmungsänderung kommt aber nach Helmholtz zu Stande, wenn sich die Spannung der Augenflüssigkeiten mehrt, und zwar so, dass sich der Krümmungshalbmesser mit steigendem Druck vergrössert, resp. die Cornea abflacht.— b) Die Krümmung der hintern Hornhautfläche ist unbekannt; am Scheitel geht sie, was für die dioptrische Betrachtung besonders wichtig, der vordern Fläche conzentrisch; darum kann, wie später zu zeigen, diese Trennungsfläche aus der Brechungsrechnung gänzlich ausfallen. — c) Die Tiefe der Augenkammer kann auch nur am Lebenden sicher gemessen werden, wie schon daraus hervorgeht, dass die am todten Auge niemals fehlende hintere Augenkammer am lebenden nicht gefunden wird; hier liegt die Iris der Linse unmittelbar an, was Helmholtz durch ein besonderes Spiegelungsverfahren dargethan hat. — d) Die Formen der vordern und hintern Linsenfläche sind von Krause d. ä. bestimmt worden. Für unsern Zweck genügt es, die kleinen Stücke derselben, die bei der Entwerfung der Bilder in Betracht kommen, als Kugelflächen anzusehen. Sehr wahrscheinlich ist es übrigens in vielen Fällen, dass auch die Linsenflächen keinem Rotationskörper angehören. — e) Die Linsenachse (Dicke der Linse) scheint nach den vorliegenden Messungen am lebenden Auge constant geringer zu sein als im todten, wie aus einer Vergleichung der von Helmholtz erhaltenen Werthe des lebenden Auges mit den von Krause am todten gewonnenen hervorgeht. Helmholtz macht darauf aufmerksam, dass dieser Umstand möglicher Weise seine Erklärung finde in einer Abspannung der zonula Zinnii nach dem Tode. — f) Die so wichtige Dimension der Glaskörperachse ist am lebenden Auge nicht zu finden.

Die Grenzflächen der einzelnen brechenden Medien und ihre gegenseitigen Abstände können am todten oder am lebenden Auge gemessen werden. Wegen der Veränderungen, die die Spannungen des Auges nach dem Tode erfahren, sind die Messungen am lebenden vorzuziehen, doch sind einzelne Data, wie die Dicke der Hornhaut und die Glaskörperachse, nur am todten Auge zu gewinnen. Die Krümmungen der Hornhaut haben Kohlrausch und Senff schon am lebenden Auge bestimmt; denselben Werth und ausserdem den Abstand der Hornhaut von der Linse, die Krümmungen der Linse und die Linsenachse zu messen, hat erst neuerlichst Helmholtz gelehrt, und zwar durch ein Verfahren, das an Schärfe nichts zu wünschen übrig lässt. Um das Prinzip dieses Instrumentes, des Ophthalmometers, welches zu der wundervollen Messung

dient, zu erläutern, wählen wir den einfachsten Fall aus, die Bestimmung des Krümmungshalbmessers des Corneascheitels.

Dieser Krümmungshalbmesser ist aufgefunden, wenn gegeben wird: die Grösse eines leuchtenden Objekts sowohl, als die Grösse seines Spiegelbildes auf der Cornea und endlich die Entfernung des leuchtenden Objektes von der vordern Hornhautfläche, denn es besteht zwischen dem Krümmungshalbmesser (r), der Grösse des leuchtenden (b) und der des gespiegelten Gegenstandes (β) und der Entfernung des Objektes von der Spiegelfläche (a) die einfache Relation, dass sich $b : \beta = a : {}^1/_2 r$ verhält, und daraus folgt, dass $r = \frac{2\,a\beta}{b}$ sei. Nun lassen sich Grösse und Augenabstand des Objekts sehr leicht durch einfache Abmesseng finden; die zu lösende Aufgabe besteht also darin, auch das Spiegelbild mit möglichster Genauigkeit zu messen, was aus mancherlei Gründen mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist. Alle diese Hemmnisse sind nun folgendermaassen beseitigt.

Gesetzt, es stehe in Fig. 56 ein leuchtender Gegenstand z. B. ein Spiegelbil der Cornea ab einer von planen und parallelen Flächen begrenzten Glassplatte cd so gegenüber, dass die Ebenen der Platte, welche in der Figur im Durchschnitt gezeichnet ist, und die des Spiegelbildes parallel ständen, so wird ein hinter der Glasplatte befindliches Auge o den Gegenstand am wirklichen Ort sehen, wie sich sogleich ergibt, wenn man den Gang der beiden beliebigen Strahlen ae und bf construirte, die aus den Endpunkten des Spiegelbildes a und b kommen. Würde nun aber (Fig. 57) bei unveränderter Lage des Spiegelbildes (ab) und des betrachtenden Auges (o) die Glasplatte cd um eine vertikale Achse gedreht, so wird dem betrachtenden Auge das Spiegelbild verschoben erscheinen. Um die Grösse dieser Verschiebung zu ermitteln, muss man kennen: den Winkel, den die Flächen des Spiegelbildes und der Glasplatte bilden, oder was auf dasselbe hinausführt, den Winkel, den die beliebigen gleichnamigen Strahlen ae und bf mit dem auf die Glasplatte gezogenen Einfallsloth einschliessen, ferner den Brechungscoefficienten des Glases der Platte und endlich die Dicke der letztern, wie aus dem hier gezeichneten Beispiel ohne Weiteres einleuchten wird; hätten alle diese Umstände die Richtung der durch die Luft gehenden Strahlen ae und bf innerhalb der Glasplatte verwandelt in die Richtung eh und fg, so würden sie hinter der Glasplatte nach gi und hk fortlaufen und darum würde dem Auge das Spiegelbild in der Verlängerung dieser Strahle, also in el und km zu liegen scheinen.

Fig. 56.

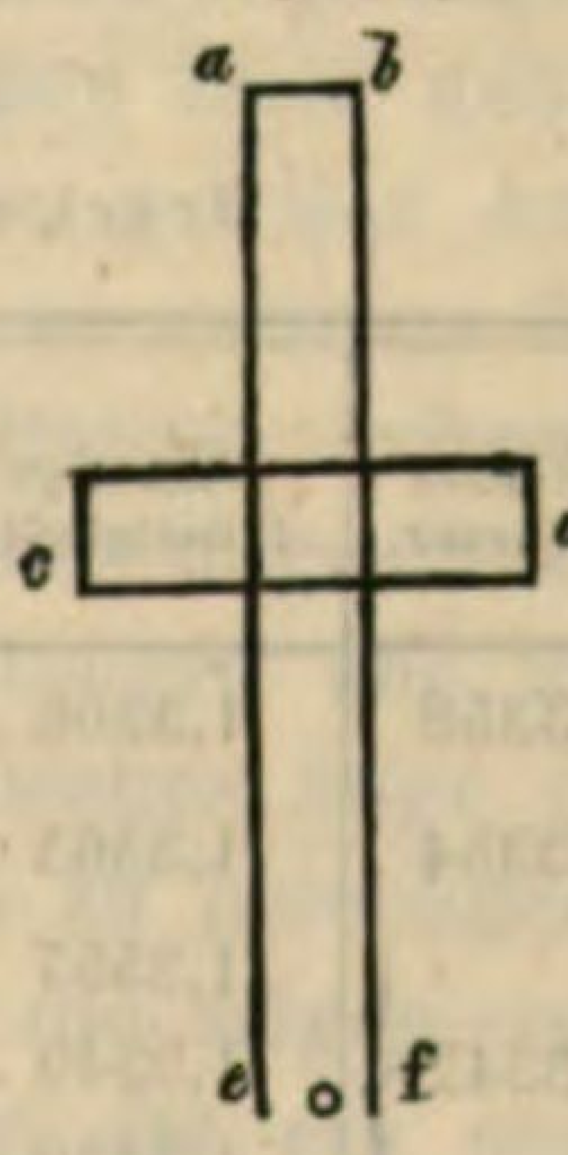
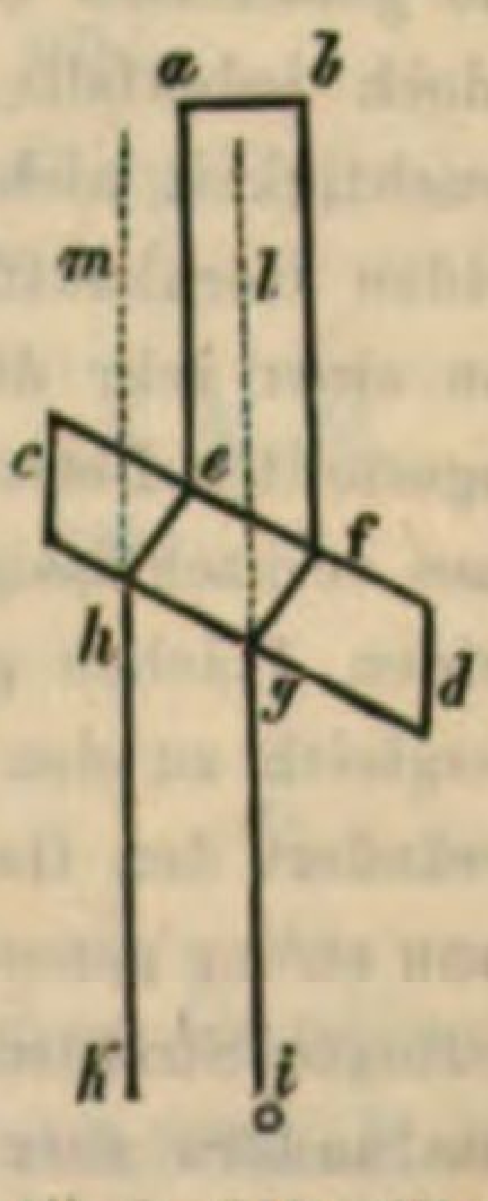


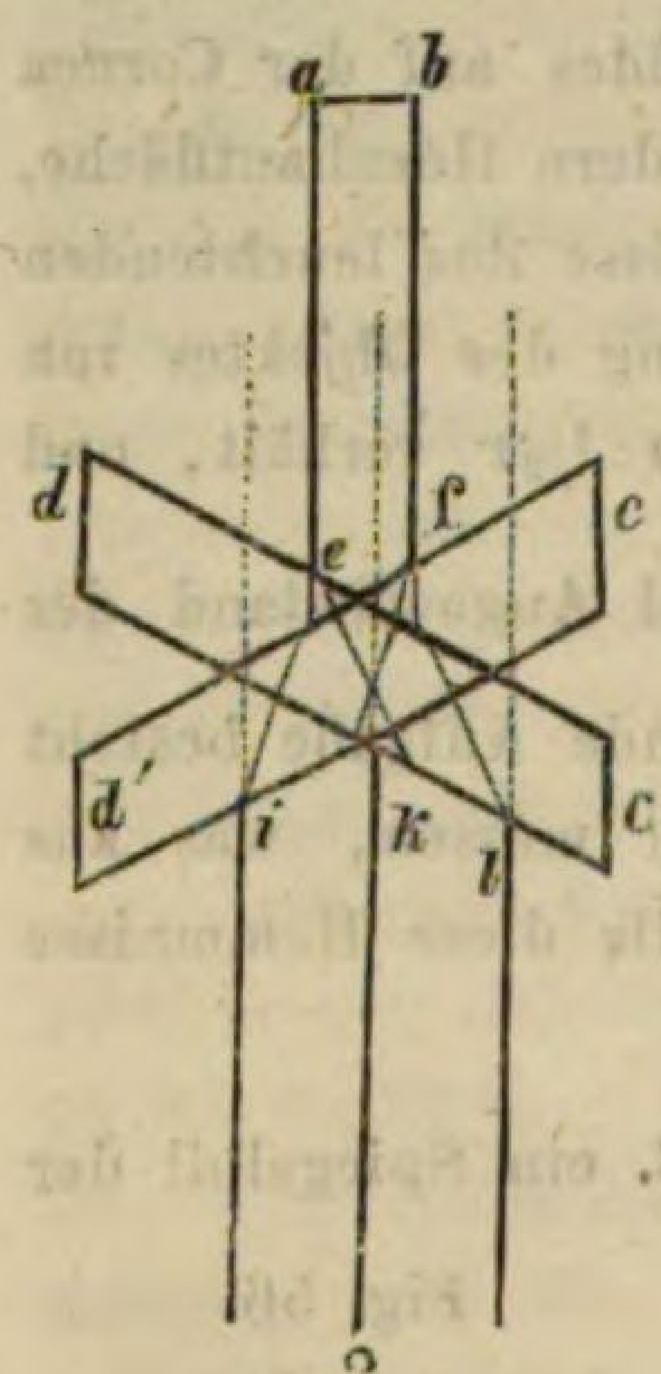
Fig. 57.



Denken wir uns nun zwei solcher genau gleichdicker Glasplatten übereinander gestellt, und um eine vertikale Achse in entgegengesetzter Richtung drehbar, sodass die vertikalen Flächen beider Platten bald in eine Ebene fallen und bald einen genau messbaren Winkel miteinander bilden; denken wir uns ferner die vertikale Mittellinie des Spiegelbildes, die genannten Drehungsachsen und das Auge in eine gerade Linie gestellt, so wird entweder das Bild an seinem wahren Ort (wenn die Platten in eine Ebene fallen) oder es wird verschoben erscheinen (wenn die Platten sich kreuzen).

Es sei in Fig. 58 *ab* das Spiegelbild, *o* das Auge, *dc* der Durchschnitt der obern, *d'c'* der der untern Glasplatte, so werden die Strahlen *ae* und *bf*, welche auf *dc* fallen, hinter diese Platte nach *i* und *k* und die, welche auf *d'c'* fallen, nach *k* und *l* gehen, d. h. das einfache Spiegelbild wird in zwei andere von genau gleicher Grösse zerlegt werden. Stellt man nun die beiden Platten genau so ein, dass sich die beiden Bilder mit den einander zugekehrten Rändern berühren, so hat man das ursprüngliche Bild *ab* gerade um seine eigene Ausdehnung vergrössert, eine Vergrösserung, welche nach dem Vorigen abhängig ist von den verschiebenden Wirkungen der gekreuzten Platten. Daraus ergibt sich aber auch die Grösse des ursprünglichen Bildes, da man den Werth einer ihm gleich grossen Verschiebung bestimmen kann.

Fig. 58.



Ueber die Vorzüge, die dieses Verfahren gewährt, die vielfachen Anwendungen, die von ihm gemacht werden können, und die besondere Anwendungsweise zur Messung der Linsenkrümmungen u. s. w. siehe das Genauere bei Helmholtz.

Brechungsindizes der durchsichtigen Augenmedien.

Reines Wasser.	Wässerige Flüssigkeit.	Linsensubstanz. Aeussere Schicht.	Linsensubstanz. Mittlere Schicht.	Linsensubstanz. Kern.	Totaler Brechungsindex der Linse.	Glaskörper.	Beobachter.
1,3358	1,3366	1,3767	1,3786	1,3390	1,4519	1,3394	Brewster.
1,3354	1,3365	1,4189			1,4414	1,3382	Helmholtz.
	1,3557	1,4743	1,4775	1,4807		1,3569	
1,3342	1,3349	1,3431	1,3523	1,4252		1,3361	Krause d. j.
	1,3420	1,4053	1,4294	1,4541		1,3485	

Der Brechungsindex der Hornhaut dürfte kaum mit voller Schärfe gefunden sein. Die genauesten Bestimmungen desselben, welche von Krause d. J. herrühren, zeigen jedoch jedenfalls, dass die Brechungs-Coeffizienten der Hornhaut und der wässerigen Feuchtigkeit nicht beträchtlich von einander abstehen. Da ausserdem im Scheitel die beiden Hornhautflächen conzentrisch gekrümmt sind und da die vordere Fläche immer von einer sehr dünnen Thränenschicht bedeckt ist, so kann nach den von Helmholtz angestellten Betrachtungen der Hornhautstoff bei der dioptrischen Würdigung des Auges ganz vernachlässigt werden. Denn sie wirkt unter diesen Voraussetzungen wie eine auf beiden Flächen gleich stark gekrümmte uhrglasförmige Linse, deren Brennpunkt im Vergleich zu den Dimensionen des Auges in unendlicher Entfernung liegt, d. h. sie verändert den Gang der Strahlen unendlich. — Der Brechungsindex der Linsensubstanz kann streng genommen nicht bestimmt werden, da die durch die einzelnen Linsenschichten bedingte Strahlenablenkung nur zum Theil von der chemischen Natur des Linsenstoffs, zum andern aber auch von den Formen herrührt, in welche jene gebracht worden sind. Die vorliegenden Bestimmungen sind jedoch insofern von Interesse, als sie den Nachweiss liefern, dass das brechende Vermögen der Linse von den äussern Schichten nach dem Kern hin zunimmt, dass also die Linse nicht aus einer optisch-homogenen Masse hergestellt ist. Um diesen Ausfall in den Unterlagen der dioptrischen Besprechung

des Auges zu decken, hat Senff einen besondern Begriff, den totalen Brechungsindex der Linse eingeführt, d. h. die Ablenkung, welche die Linse in Folge der Natur und der Form ihrer Stoffe bedingt; man schreibt, indem man diese Anschauung adoptirt, die Ablenkung, welche durch die Form der die einzelnen Schichten begrenzenden Flächen erzeugt wird, dem Brechungsvermögen der Linsenstoffe selbst zu. Schon Senff wiess nach, dass dieses unterstellte Brechungsvermögen grösser als das des Kernes sei und Helmholtz ermittelte für zwei ausgeschnittene menschliche Linsen die oben gegebenen Werthe. Indem er die Resultate mittheilt, macht er jedoch auf die von ihm entdeckte und schon erwähnte Thatsache aufmerksam, dass wahrscheinlich die todte und die lebende Linse eine ungleiche Krümmung ihrer Grenzfläche darbiete, da die von ihm gemessenen lebenden Linsen immer noch dünner sind, als die dünnsten todten.

Unter den Messungen der Brechungsindizes zeichnen sich die von Krause d. j. aus durch die Schärfe der Methode und die grosse Zahl der Bestimmungen. Die unter seinem Namen aufgeführten Zahlen stellen das Maximum, Minimum und das Mittel der gefundenen Werthe dar.

4. Das mittlere Auge. Die soeben mitgetheilten Messungen lassen erkennen, dass die für normal geltenden Augen nicht unbeträchtlich von einander abweichen; wollte man also gewisse Aufgaben mit Rücksicht auf ein bestimmtes Auge lösen, so müssten für dieses die Constanten (Krümmungen, Brechungsverhältnisse, Achsenlängen) eigens gemessen werden. — Diese Abweichungen gestatten es aber auch den allgemeinen theoretischen Betrachtungen und besondern annähernd giltigen Ableitungen ein schematisches Auge zu Grunde zu legen. Unter den Versuchen, ein solches zu berechnen, hat sich ein von Listing ausgeführter mit Recht die allgemeine Anerkennung erworben. Wir lassen seine Angaben für ein sog. mittleres Auge hier folgen.

Brechungsvermögen	der Luft	1
„ „	des Augenwassers . .	$^{103}/_{77}$
„ „	der Linse	$^{16}/_{11}$
„ „	der Glasfeuchtigkeit .	$^{103}/_{77}$
Krümmungshalbmesser	der Hornhaut	8 M.M.
„ „	der vordern Linsenfläche .	10 „
„ „	der hintern Linsenfläche .	6 „
Tiefe der Augenkammer		4 „
Linsenachse		4 „

Aus diesen Daten berechnet sich die Lage der optischen Cardinalpunkte folgendermaassen: Der erste Brennpunkt liegt 12,8326 M.M. vor der Hornhaut; der zweite liegt 14,6470 M. M. hinter der hintern Linsenfläche. — Der erste Hauptpunkt liegt 2,1746, der zweite 2,5724 hinter der Vorderfläche der Hornhaut. — Der erste

Knotenpunkt liegt 0,7850 M.M., der zweite 0,3602 M.M. vor der Hinterfläche der Linse. — Die erste Hauptbrennweite (d. h. der Abstand der Brennpunkte von den gleichnamigen Hauptpunkten) beträgt 15,0072 M.M. und die zweite 20,0746 M.M.

Um den Gang der Strahlen durch das Auge, resp. seine Cardinalpunkte zu berechnen, zerlegt man sich dasselbe nach den von Helmholtz gegebenen Anleitungen in zwei Systeme, die Hornhaut und die Linse; es wären also zuvörderst deren Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte festzustellen.

1. Hornhaut. Da ihre Dicke unbedeutend ist, ihr Brechungsvermögen von dem der wässerigen Feuchtigkeit wenig abweicht, ihre beide Flächen wenigstens im Scheitel konzentrisch sind und sie auf beiden Seiten von Flüssigkeiten annähernden Brechungsvermögens (Thränen und wässerige Feuchtigkeit) bedeckt ist, so ist erlaubt, wie Helmholtz mit der Theorie und dem Versuch erweisst, ihre Betrachtung sehr zu vereinfachen. Man darf nämlich die Unterstellung machen, dass sich die wässerige Feuchtigkeit bis an die vordere Hornhautfläche erstrecke und dort eine der Hornhautkrümmung gleiche Form besitze; mit einem Wort, man darf die Hornhaut ganz vernachlässigen und nur die Brechung an der vordern Fläche des Augenwassers in Betracht ziehen. Dass in diesem Fall die beiden Hauptpunkte in einen zusammenfallen, der an dem Schnittpunkt der Achse und der brechenden Fläche liegt, ist schon S. 248 erwähnt; ebenso fallen die Knotenpunkte in einen zusammen und zwar in den Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut.

2. Die Krystalllinse. Die Flüssigkeit vor ihr (Augenwasser) und hinter ihr (Glasfeuchtigkeit) haben so annähernd gleichen Brechungsindex, dass man denselben für beide Flüssigkeiten ebenfalls identisch annehmen darf. In optischen Systemen, deren erstes und letztes Mittel identisch ist, fallen die Hauptpunkte mit den Knotenpunkten zusammen, also auch in der Krystalllinse. — Nun besteht aber die Krystalllinse aus lauter einzelnen Schichten, deren Dichtigkeit von der Oberfläche bis zum Kern hin zunimmt; weil das Gesetz dieser Zunahme unbekannt ist, so gelingt es nicht den Gang der Lichtstrahlen durch die Linse zu berechnen und es muss sich die Theorie begnügen, die Grenze anzugeben, innerhalb derer die Brenn- und Hauptpunkte eingeschlossen sind. Helmholtz beweist nun a) dass die Brennweiten der Krystalllinse kleiner sein müssen, als sie sein würden, wenn ihre ganze Masse das Brechungsvermögen des Kerns besässe und b) dass die Entfernung der Hauptpunkte von einander in der Krystalllinse kleiner ist, als in einer Linse, welche die Form der menschlichen und das Brechungsvermögen des Kerns hätte. — Die Hauptpunkte einer biconvexen Linse liegen nun innerhalb derselben (d. h. ihre Abstände von den Flächen sind negativ) und zwar liegt der vordere vor dem hintern. Die Hauptpunkte einer Linse von der Gestalt der menschlichen und dem Brechungsvermögen ihres Kerns würden nur etwa $^1/_4$ M. M. voneinander liegen, dadurch ist also die Entfernung der Hauptpunkte in der Krystalllinse in sehr enge Grenzen eingeschlossen. Um nun aber noch genauere Unterlagen für die Berechnung zu gewinnen, maass Helmholtz an zwei ausgeschnittenen Linsen 12 Stunden nach dem Tode die optischen Constanten. Wir verweissen rücksichtlich der Methode auf die Originalabhandlung *) und geben nur die Resultate, welche sich auf den Fall beziehen, dass die Linsen hinten und vorn von Glasfeuchtigkeit umzogen sind.

*) l. c. p. 79.

	I.	II.
Brennweite	45,144 M. M.	47,435 M. M.
Abstand des ersten Hauptpunktes von der vordern Fläche	2,258 „	2,810 „
„ „ zweiten „ „ „ hintern „	1,546 „	1,499 „
Linsenachse	4,20 „	4,314 „
Krümmungshalbmesser im Scheitel der vordern Fläche .	10,162 „	8,865 „
„ „ „ „ „ hintern „ .	5,860 „	5,899 „
Totales (hypoth.) Brechungsvermögen	1,4519 „	1,4414 „

3. Gesammtauge. Bringt man nun diese Thatsachen mit denen zusammen, welche über den Abstand der Linsenfläche vom Scheitel der Hornhaut schon mitgetheilt sind, so lässt sich nach den früher gegebenen Anleitungen die Rechnung für die Cardinalpunkte des Auges ausführen. Geschieht dieses, so kommt man für sie auf Werthe, welche mit denen des Listing'schen mittlern Auges sehr nahe übereinstimmen. Beispielsweise führen wir an, dass die Listing'schen Annahmen die vordere Brennweite der Hornhaut zu 23,70 M. M. und die hintere zu 31,70 stellen, während die gleichen Punkte nach dem Mittel der am lebenden Auge gefundenen Krümmungsradien (7,8 M. M.) und dem Brechungsindex 1,342 (W. Krause) berechnet auf 22,81 und 30,61 M. M. zu stehen kommen. — An den Cardinalpunkten der Listing'schen Linse, vorausgesetzt, dass sie in wässeriger Feuchtigkeit läge, fällt die Brennweite auf 43,796 M. M., der Abstand des vordern Hauptpunktes von der vordern Linsenfläche = 2,346, und der des hintern Hauptpunktes von der gleichnamigen Linsenfläche = 1,407, was, wie man sieht, mit den Zahlen der obengegebenen Tabelle gut stimmt.

Helmholtz hebt jedoch hervor, dass, wenn sich der schon früher bemerkte Unterschied zwischen todten und lebenden (p. 260) Linsen bestätigen sollte, das Listing'sche Auge wahrscheinlich nur einem nahesehenden entsprechen würde.

Von besonderer Wichtigkeit für die Ermittelung der Lage der Bilder auf der Netzhaut ist die Bestimmung der Knotenpunkte des Auges. Es ist darum hervorzuheben, dass der Werth, um welchen die Lage des vordern Knotenpunktes noch unsicher ist, höchstens 0,5 M. M. beträgt, indem er zwischen $^3/_4$ und $^5/_4$ M. M. vor dem Mittelpunkt der Hornhaut liegen muss. Dieses ergibt sich nach Helmholtz folgendermaassen: Derjenige Punkt, dessen Bilder die beiden Knotenpunkte sind, liegt nach den früher angegebenen Methoden (p. 249) zur Auffindung dieser Punkte zwischen dem Krümmungsmittelpunkt (den Knotenpunkten) der Hornhaut und dem ersten Hauptpunkt der Linse, und seine Abstände von diesen beiden Punkten verhalten sich wie die kleinere Brennweite der Hornhaut zu der der Linse, d. h. ungefähr wie 1 : 2. In Listing's schematischem Auge beträgt der Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse vom Mittelpunkte der Hornhaut 1,627 M. M., nach den Messungen von Helmholtz am lebenden Auge können jene Entfernungen bis zu 2,6 steigen. Der Punkt also, dessen Bilder die beiden Knotenpunkte sind, würde 0,54 bis 0,87 M. M. vor dem Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut liegen. Der erste Knotenpunkt ist nun das durch die Hornhaut entworfene Bild jenes Punktes. Bilder von Objekten, die sehr nahe vor dem Krümmungsmittelpunkt einer kugligen brechenden Fläche liegen, liegen aber schon sehr nahe vor ihrem Objekte. Nehmen wir nun die Angaben von Listing, so liegt der vordere Knotenpunkt 0,758 vor dem Mittelpunkt der Hornhaut, wenn dagegen der Punkt, dessen Bild er ist, 0,87 M. M. vor dem Mittelpunkt der Hornhaut läge, so würde der erste Knotenpunkt 1,16 vor diesem liegen.

Von diesen Angaben weicht die Bestimmung des Knotenpunktes am lebenden Auge, welche Volkmann unternommen*), beträchtlich ab, indem er ihn 8,93 M. M. hinter der Hornhaut fand. Diese Angabe würde für die bisher gemessenen Krümmungsradien lebender Hornhäute zu gross sein, weil er dann der Theorie entgegen hinter den Mittelpunkt derselben fiel. Eine Anzahl kleiner Fehler, die sich in seinem Verfahren summiren, erklären auch die Abweichung zur Genüge**). Immerhin ist die Uebereinstimmung mit den berechneten noch augenfällig.

Die Centrirung der brechenden Flächen des Auges ist nicht vollkommen, wie die Messungen von Helmholtz lehren; jedoch ist die Abweichung in den gemessenen Augen auch gerade nicht beträchtlich gefunden worden, so dass man sich immerhin an die Annahme des schematischen Auges, dass alle Mittelpunkte in einer geraden Linie liegen, halten kann. Ueber die Messungsmethode zur Bestimmung der Centrirung siehe Helmholtz***).

5. Das reduzirte Auge. Wenn es sich nicht um den Grad von Genauigkeit handelt, welcher durch das schematische Auge erlangt werden kann, so ist es erlaubt, den Berechnungen und Construktionen noch ein einfacheres Schema zu Grunde zu legen: dieses erhält man nach Listing dadurch, dass man statt mehrer brechenden Flächen und optischen Mittel nur eine brechende Fläche und zwei optische Mittel substituirt; in diesem Fall werden die Hauptpunkte, zu einem einzigen vereinigt, in den Scheitel dieser Fläche fallen und die zu einem einzigen zusammengezogenen Knotenpunkte in den Krümmungsmittelpunkt dieser Fläche. Die Berechtigung zu dieser Zusammenziehung von Haupt- und Knotenpunkten ist dadurch gegeben, dass auch im mittlern Auge diese Punkte eine sehr geringe Entfernung von einander darbieten. Damit ein so beschaffener Apparat mit Strahlen, die nahe um die Achse einfallen, Bilder von ähnlicher Grösse und Entfernung entwirft, wie das schematische Auge, muss nach Listing der Krümmungshalbmesser der brechen-Fläche (welche der Cornea substituirt wird) 5,1248 M. M. betragen, vor ihr muss Luft vorhanden sein und der Raum zwischen ihr und der Retina ist mit Augenwasser erfüllt zu denken.

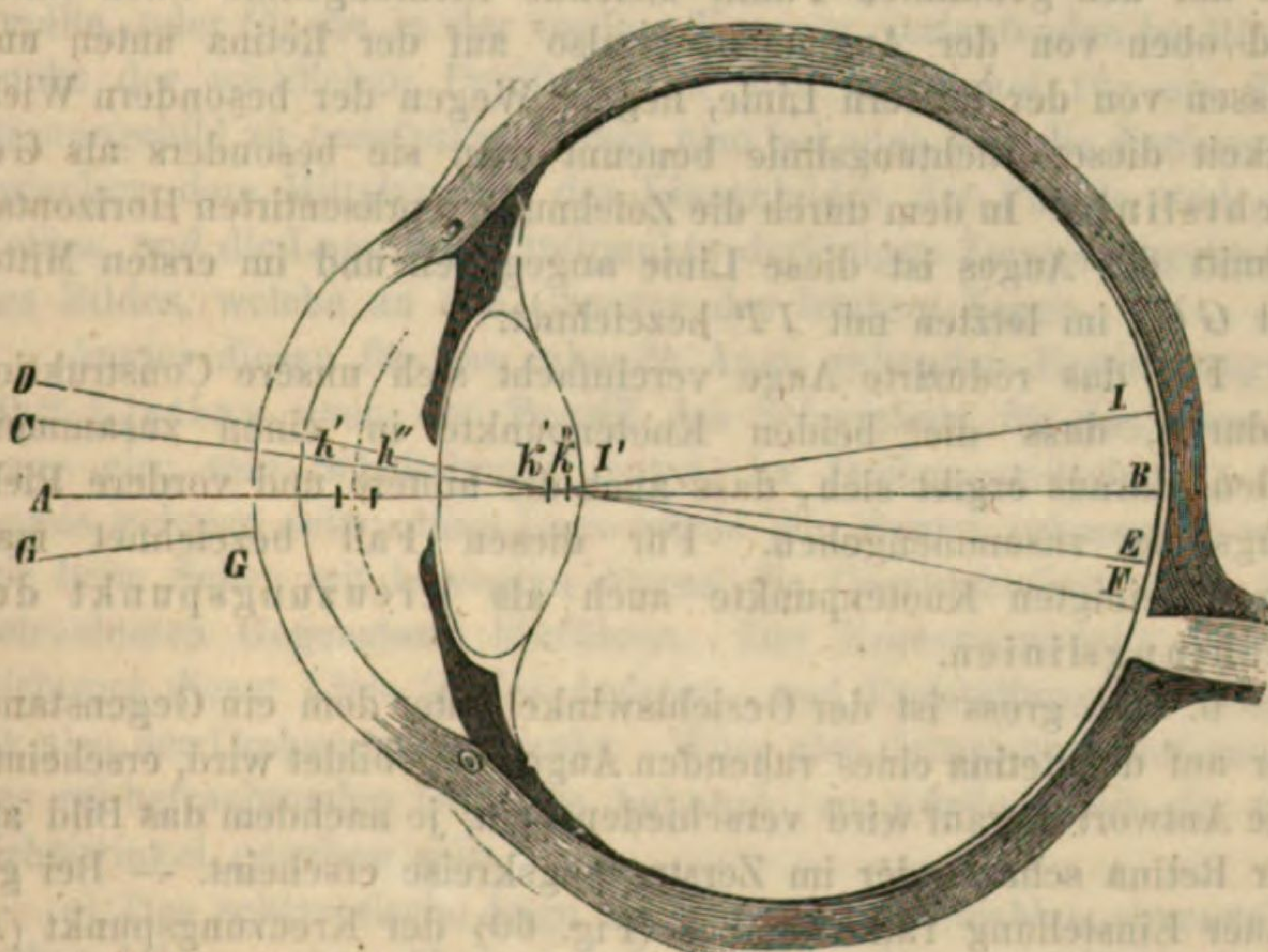
6. Mit Hilfe der vorstehenden Erörterungen und Thatsachen lassen sich nun sehr zahlreiche dioptrische Aufgaben in einer praktisch brauchbaren Weise lösen. Wir heben die Lösungen folgender heraus.

a) Wenn beliebige leuchtende nicht zu grosse Objekte auf dem mittleren Theil der Retina deutliche Bilder entwerfen, so soll angegeben werden, welche Punkte der Objekte und Bilder

*) Wagner's Handwörterbuch. Art. Sehen p. 286.
**) Helmholtz, l. c. 85.
***) l. c. 5. 86.

sich entsprechen? Die Antwort hierauf wird leicht gegeben mit Hilfe derjenigen Strahlen, welche im ersten Mittel (der Luft) auf den ersten und im letzten Mittel (dem Glaskörper) auf den zweiten Knotenpunkt zielen. Es sei in dem mittlern Auge (Fig. 59)

Fig. 59.



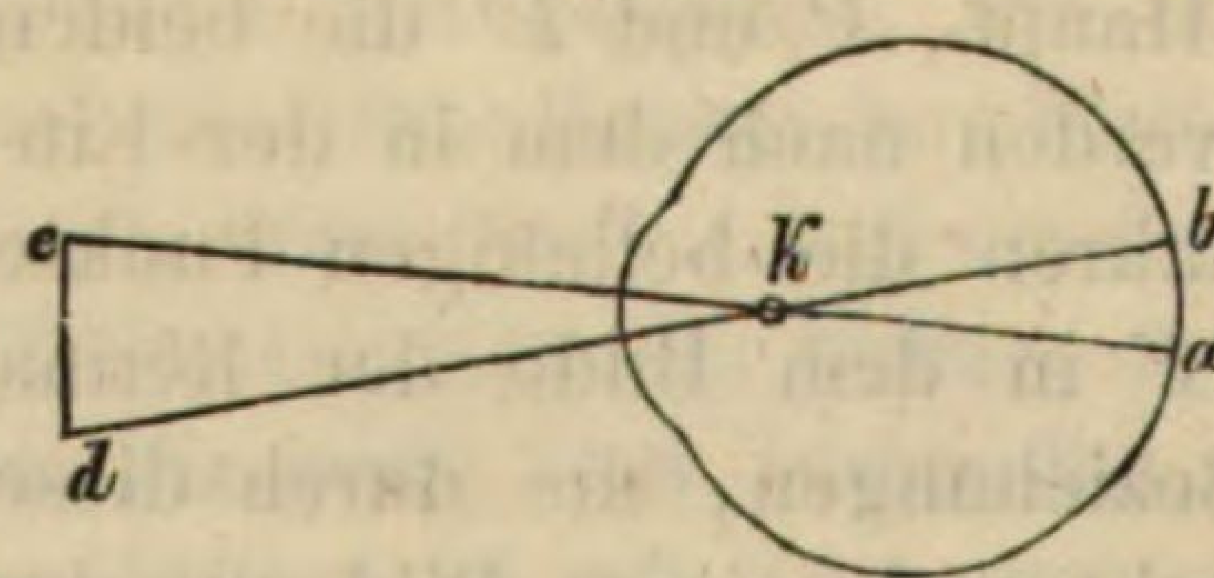
AB die Achse, *h'* und *h''* die beiden Haupt-, *k'* und *k''* die beiden Knotenpunkte, *ADC* ein Objekt, so werden nach dem in der Einleitung mitgetheilten Constructionsverfahren die beliebigen Punkte *ACD* des Objekts den Punkten *BEF* in dem Bilde der Retina entsprechen. Wegen den einfachen Beziehungen, die durch diese Linien zwischen dem leuchtenden Punkt und seinem Bild auf der Retina hergestellt werden, hat man sie eigens mit dem Namen der Richtungslinien belegt, und zwar führt den Namen der ersten Richtungslinie diejenige, welche vom leuchtenden Punkt gegen den ersten Knotenpunkt gezogen wird, und den der zweiten Richtungslinie, diejenige, welche parallel der ersten den Bildpunkt mit dem zweiten Knotenpunkt verbindet. Indem man beachtet, dass in dem Raume zwischen Cornea und hinterer Linsenfläche (den Achsenstrahl ausgenommen) kein wirklicher Lichtstrahl den Gang der Richtungslinie einhält, bezeichnet man auch den mit im ersten und letzten Mittel mit der Richtungslinie zusammenfallenden Strahl, als

ersten und letzten Richtungsstrahl. — Früher glaubte man allgemein, dass diejenige Richtungslinie, welche auf den Punkt des schärfsten Sehens der Retina einfalle, indentisch sei mit der Augenachse *AB*. Helmholtz hat jedoch gezeigt, dass er mit ihr einen Winkel einschliesst, und dass namentlich vor der Hornhaut die auf den genannten Punkt zielende Richtungslinie nach innen und oben von der Augenachse, also auf der Retina unten und aussen von der letztern Linie, liege. Wegen der besondern Wichtigkeit dieser Richtungslinie benennt man sie besonders als Gesichtslinie. In dem durch die Zeichnung repräsentirten Horizontalschnitt des Auges ist diese Linie angegeben und im ersten Mittel mit *GG'*, im letzten mit *II'* bezeichnet.

Für das reduzirte Auge vereinfacht sich unsere Construktion dadurch, dass die beiden Knotenpunkte in einen zusammenfallen, daraus ergibt sich, dass auch die hintere und vordere Richtungslinie zusammengehen. Für diesen Fall bezeichnet man die vereinigten Knotenpunkte auch als Kreuzungspunkt der Richtungslinien.

b. Wie gross ist der Gesichtswinkel unter dem ein Gegenstand, der auf der Retina eines ruhenden Auges abgebildet wird, erscheint? Die Antwort hierauf wird verschieden sein, je nachdem das Bild auf der Retina scharf oder im Zerstreuungskreise erscheint. — Bei genauer Einstellung fällt nämlich (Fig. 60) der Kreuzungspunkt *(k)* der Richtungslinien *ab*, *cd*, durch welche die Endpunkte des Objekts mit denen des Bildes verbunden, in die hier zu einen zusammengezogenen Knotenpunkte; ist also Grösse und Entfernung des Objekts oder die Grösse des Bildes auf der Retina allein bekannt, so ist auch sogleich der Gesichtswinkel *dkc* oder *bka* gegeben. — Beim Sehen mit Zerstreuungskreisen gilt jedoch diese Ableitung nicht mehr; diese Art zu sehen, benutzen wir u. A. für gewöhnlich beim sog. Visiren, d. h. wenn wir beurtheilen wollen, ob zwei oder ungleich vom Auge entfernte Objekte in einer Richtung gelegen sind, eine Beobachtung, bei der, wie aus den optischen Eigenschaften des Auges hervorgeht, die Netzhaut mindestens für das eine, gewöhnlich aber für keines der beiden Objekte genau accommodirt ist. Nun theilen wir aber zwei ungleich entfernten Gegenständen ein und dieselbe Richtung zu, wenn sich die

Fig. 60.



Mittelpunkte ihrer Zerstreuungsbilder decken, darum ist es nothwendig den Punkt des Auges aufzusuchen, in welchem die von den Mittelpunkten der Zerstreuungskreise ausgehenden Geraden sich schneiden; denn dieser Punkt wird der Scheitel des Gesichtswinkels sein. Dieser Punkt liegt aber, wie sich beweissen lässt*), für Strahlen, die im Glaskörper verlaufen, im Mittelpunkt des Linsenbildes der Pupille, oder für die in der vordern Kammer verlaufenden im Mittelpunkt der wirklichen Pupille. Um den Sehwinkel für ein Zerstreuungsbild zu construiren, muss also bekannt sein die Entfernung zwischen dem Mittelpunkte des Linsenbildes der Pupille und der Retina, und die Lage der Mittelpunkte derjenigen Zerstreuungskreise des Bildes, welche an den Grenzen des letztern liegen.

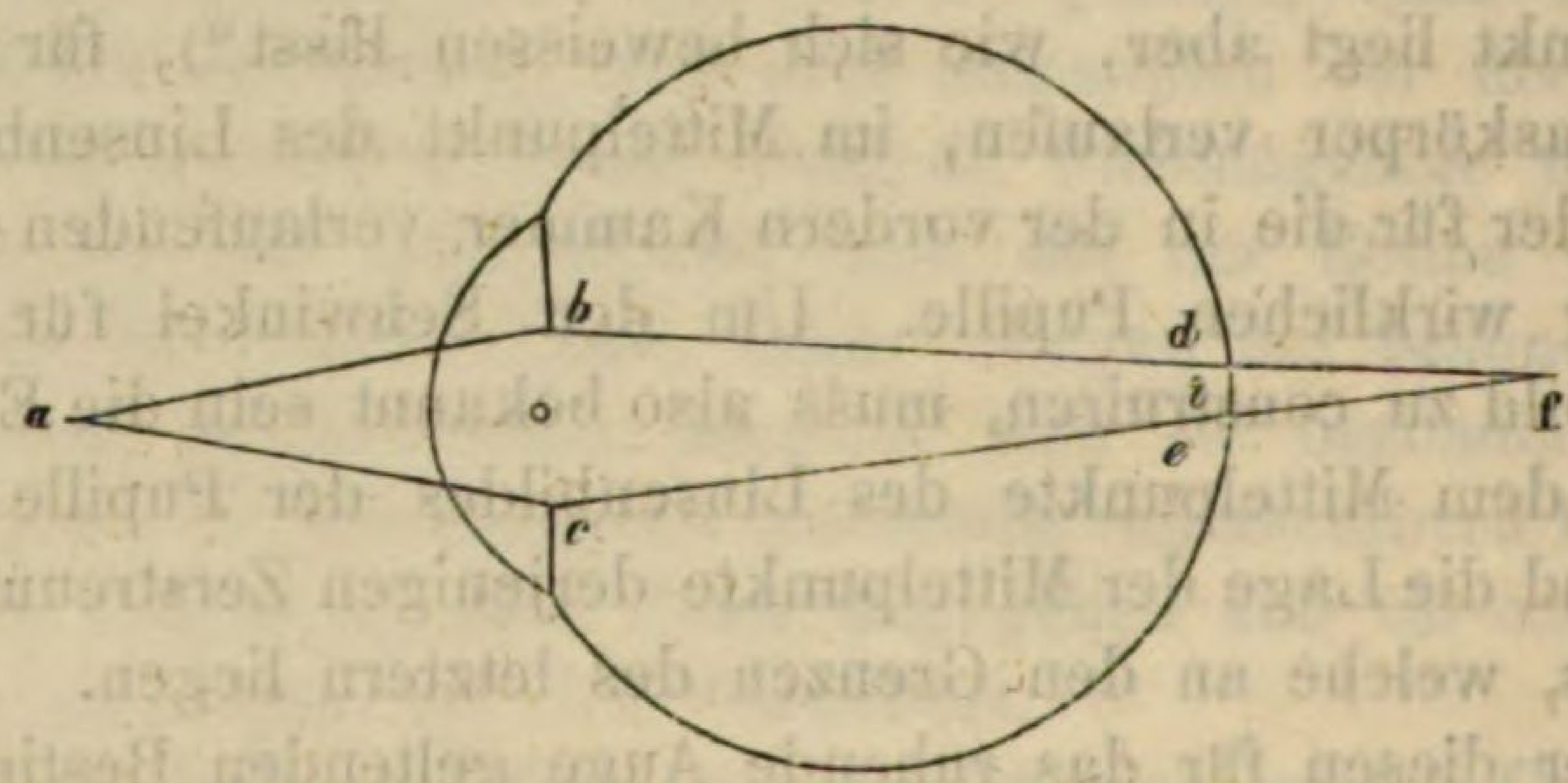
Ausser diesen für das ruhende Auge geltenden Bestimmungen, führt Listing noch den Begriff des Sehwinkels für das bewegte Auge ein; sein Scheitelpunkt würde im Drehungsmittelpunkt des Auges gelegen sein; diese Lage würde ihm darum zukommen, weil wir beim Sehen mit bewegten Augen die Geschichtslinie über den betrachteten Gegenstand hinführen. Der Kreuzungspunkt für die Richtung dieser Linie in der Anfangs- und Endstellung des Auges ist also der Drehungsmittelpunkt. Wäre also Grösse und Entfernung des zu betrachtenden Objektes bekannt, so würde damit der Gesichtswinkel gegeben sein.

c) Das schematische Auge sei für parallele Strahlen eingestellt, während dessen aber nähere sich ein Gegenstand aus unendlicher Ferne bis zu 88 M.M. Entfernung dem Auge; es sollen nun die Durchmesser der Zerstreuungskreise berechnet werden, in welchen alle Punkte, die innerhalb der bezeichneten Grenzen gelegen sind, auf der Retina erscheinen. Um dieses zu bestimmen, verfährt man folgendermaassen: zuerst sucht man den Ort des Bildpunktes auf, wenn derjenige des Objektes gegeben ist. Hierzu dient die Gleichung $\frac{F' F''}{l'} = l''$; d. h. man bildet aus den beiden Hauptbrennweiten des Auges ein Produkt, welches man dividirt durch den Abstand des leuchtenden Objekts vom ersten Brennpunkt; der Quotient l'' ist dann der Abstand des Bildes vom zweiten Brennpunkt resp. der Retina nach hinten gerechnet. Gesetzt, es sei auf diese Weise (Fig. 61) das Bild des leuchtenden Punktes a in f gefunden und es sei bc der Durchmesser und o der Mittelpunkt der Pupille, de der Durchmesser und i der Mittelpunkt des Zerstreuungskreises auf der Retina, so

*) Helmholtz, l. c. p. 98.

wird, wenn wir de als geradlinig ansehen, sich $bc : of = de : if$ verhalten, also wird $de = \frac{if \cdot bc}{of}$, oder in Worten, wir müssen den

Fig. 61.



Abstand des Bildpunktes von der Retina dividiren durch den Abstand des Bildpunkts von dem Pupillenmittelpunkt und diesen Bruch mit der Pupillenweite multipliziren, so erhalten wir den Durchmesser des Zerstreuungskreises auf der Retina.

Listing hat für das mittlere Auge die Grösse der Zerstreuungskreise berechnet; für dieses Auge ist das Produkt der beiden Brennweiten = 15,00 × 20,07 = 301,26 □ M.M. (wofür man bei grossen Entfernungen in runder Zahl 300,0 □ M.M. setzen kann), die Entfernung der Pupillenebene von der Retina beträgt 19,15 M.M.; der Durchmesser der Pupille wurde = 4 M.M. angenommen. In der folgenden Tafel bedeutet l' die Entfernung des leuchtenden Punktes vom vordern Brennpunkt aus nach vorn gerechnet, l'' die Entfernung des Bildes von der Netzhaut nach hinten genommen, z den Durchmesser des Zerstreuungskreises auf der Netzhaut.

l'	l''	z
unendlich.	0 M.M.	0 M.M.
65 Meter.	0,005 M.M.	0,0011 M.M.
25 „	0,012 „ „	0,0027 „ „
12 „	0,025 „ „	0,0056 „ „
6 „	0,050 „ „	0,0112 „ „
3 „	0,100 „ „	0,0222 „ „
1,5 „	0,200 „ „	0,0443 „ „
0,75 „	0,400 „ „	0,0825 „ „
0,375 „	0,800 „ „	0,1616 „ „
0,188 „	1,600 „ „	0,3122 „ „
0,094 „	3,200 „ „	0,5768 „ „
0,088 „	3,42 „ „	0,6484 „ „

Diese Tabelle lehrt, dass bei grossen Entfernungen grosse Unterschiede in der Lage des Objekts eine nur sehr geringe Veränderung in dem Durchmesser der Zerstreuungskreise bedingen, während, wenn das Objekt dem Auge sich mehr und mehr genährt hat, schon kleine Unterschiede seiner Entfernung ein bedeutendes Wachsthum der Zerstreuungskreise herbeiführen.

Wenn nun, wie schon bewiessen wurde, eine der Grundbedingungen des deutlichen Sehens darin besteht, dass die Durchmesser der Zerstreuungskreise, welche auf dem mittleren Theil der Retina entworfen werden, einen bestimmten und zwar einen sehr geringen Durchmesser nicht überschreiten dürfen, so können wir mit Czermak*) aus der vorstehenden Tafel folgern: 1. dass die Dringlichkeit und Grösse der innern Veränderungen behufs der Accommodation in der Nähe viel bedeutender sind, als beim Sehen in weiteren Fernen; ein Satz, der unmittelbar aus der Listing'schen Berechnung hervorgeht. — 2. Das Auge ist niemals für einen Punkt, sondern für eine Linie eingestellt, die sich diesseits und jenseits des Punktes erstreckt, auf welche das Auge optisch eingestellt ist. Diese Linien und Punkte bezeichnet Czermak als Accommodationslinien und Accommodationspunkte. Dieser Satz gilt darum, weil es zum deutlichen Sehen nicht nothwendig ist, dass dem leuchtenden Punkt auf der Retina auch ein Bildpunkt entspricht, sondern weil im Gegentheil, wenn auch nur innerhalb beschränkter Grenzen, ein Bildpunkt und ein Zerstreuungskreis für das deutliche Sehen gleichwerthig sind.

Daraus folgen für die Accommodationslinien noch einige andere von Czermak gegebene Bestimmungen, 1. die Länge der Accommodationslinien nimmt mit der Entfernung des Auges vom Accommodationspunkt zu. 2. Die Accommodationslinien sind um so schärfer begrenzt, je näher der Accommodationspunkt dem Auge liegt. 3. Der Accommodationspunkt liegt nicht in der Mitte der Accommodationslinie, sondern näher dem zum Auge gekehrten Ende.

d) Es lässt sich die Frage beantworten, ob die Veränderungen, welche das Auge beim Uebergang aus dem Sehen in die Ferne zu dem in die Nähe beobachtungsgemäss erleidet, genügen, uns deutliche Bilder der nahen und fernen Gegenstände auf der Retina zu entwerfen? Helmholtz und Zehender haben sich der Mühe unterzogen, mit zu Grundelegung der Messungen des ersteren, solche Rechnungen auszuführen. Wir geben hier das Resultat der Rechnung von Helmholtz, der für das Sehen in die Ferne das mittlere Auge

*) Physiolog. Studien. 1. Abth. p. 9 und 2. Abth. p. 1. Wiener Sitzungsberichte XII. u. XV. Bd.

von Listing, geringe Modifikationen ausgenommen, zu Grunde legt. Aus der Rechnung von Helmholtz geht das befriedigende Ergebniss hervor, dass wenn das für die Ferne accommodirte Auge mit parallelen Strahlen deutlich sieht, das für die Nähe angepasste einen 130 M.M. von der Hornhaut entfernten Gegenstand noch deutlich auf der Netzhaut abbilden würde, vorausgesetzt, dass die Retina in beiden Fällen gleichweit von der Hornhaut entfernt absteht. — Die Längenmaasse der Tabelle sind M.M., der Ort eines Punktes ist die Entfernung vom Hornhautscheitel.

Angenommen.	Accommodation für die Ferne.	Accommodation für die Nähe.
Krümmungsradius der Hornhaut	8,0	8,0
„ „ der vordern Linsenfläche	10,0	6,0
„ „ der hintern Linsenfläche	6,0	5,5
Ort der vordern Linsenfläche	3,6	3,2
„ „ hintern Linsenfläche	7,2	7,2
Berechnet.		
Vordere Brennweite der Hornhaut	23,692	23,692
Hintere „ „ „	31,692	31,692
Brennweite der Linse	43,707	33,785
Abstand des vorderen Hauptpunktes der Linse von der vorderen Fläche	2,1073	1,9745
Abstand des hinteren von der hinteren . .	1,2644	1,8100
Abstand der beiden Hauptpunkte der Linse von einander	0,2283	0,2155
Hintere Brennweite des Auges	19,875	17,756
Vordere „ „ „	14,858	13,274
Ort des vorderen Brennpunktes	—12,918	—11,241
„ des ersten Hauptpunktes	1,9403	2,0330
„ des zweiten „	2,3563	2,4919
„ des ersten Knotenpunktes	6,957	6,515
„ des zweiten „	7,373	6,974
„ des hintern Brennpunktes	22,231	20,248

Die Veränderungen, welche Helmholtz zum Behuf der bevorstehenden Berechnung an dem Listing'schen Auge angebracht hat, bestehen darin, dass der Beobachtung am lebenden entsprechend die Linsenflächen etwas nach vorn gerückt und die Linse dünner angenommen ist.

e) Nach dem Vorgange von Zehender lassen sich auch Aufgaben, die für die Augenheilkunde sehr werthvoll sind, lösen, und damit Diagnosen gewisser Abweichungen herstellen, die auf keinem andern Wege zu gewinnen sind. Vorausgesetzt z. B. es wären mittelst des Ophthalmometers die ihm zugänglichen optischen Constanten eines Auges gemessen, und innerhalb der normalen Grenzen liegend gefunden worden, und trotzdem beständen Abnormitäten rücksichtlich der deutlichen Sehweite, so würde man auf eine abnorme Länge der Augenachse zu schliessen haben; man kann ferner ermittlen, in wiefern sich die einzelnen Krümmungshalbmesser der brechenden Flächen zur Erzielung eines normalen Resultates compensiren, trotzdem dass jeder für sich vom normalen Mittel beträchtlich abweicht; ferner den Erfolg berechnen, der sich aus der Anwendung bestimmt geformter Brillengläser ergibt, die vor ein Auge gesetzt werden, dessen Constanten durch Messung bestimmt sind u. s. f. Wir müssen uns jedoch begnügen, aus der lesenswerthen Abhandlung von Zehender nur ein Resultat auszuschreiben, die Beziehung nämlich, welche zwischen der Länge der Augenachse und der Entfernung besteht, in welcher ein Gegenstand, der deutlich gesehen werden soll, liegen muss, vorausgesetzt, dass das Auge keine Accommodationsbewegung ausführt. Es ist an und für sich einleuchtend, dass eine Nebeneinanderstellung zusammengehöriger Werthe sowohl für die sog. normale Kurz- und Weitsichtigkeit, als auch für das staphyloma posticum von grossem Interesse sind. — Zehender*) legt seiner Berechnung ein schematisches Auge von folgenden Eigenschaften zu Grunde.

		M. M.	Linien Paris.
Krümmungshalbmesser der Hornhaut . . .	=	7,976	3,5385
„ „ der vordern Linsenfläche	=	9,180	4,0692
„ „ der hintern „ „	=	—5,741	—2,5451
Entfernung der Linse von der Hornhautscheide .	=	3,608	1,6
Dicke der Linse	=	4,510	2
Brechungsverhältniss des Augenwassers und der Glasfeuchtigkeit	=	1,34328	
Totaler Brechungsindex der Linse	=	1,44765	

Denkt man sich an diesem Auge alles constant und lässt dagegen die Entfernung der Seh- von der Hornhaut sich verändern, so stellt

*) l. c. p. 75.

sich heraus, dass diese Entfernung der Reihe nach die Werthe der in der ersten Columne verzeichneten Zahlen annehmen müsste, wenn ein Objekt auf der Retina deutlich abgebildet werden soll, dessen Entfernung von der Cornea in der zweiten Columne verzeichnet ist.

Die Zahlen der zweiten Columne stellen also, insofern dem Auge keine negative Accommodation zukommt, den Abstand des Fernpunktes der deutlichen Sehweite dar.

Länge der Augenachsen.		Sehweite von der Vorderfläche der Hornhaut.	
Millimeter.	Linien, Paris.	Meter.	Fuss, Paris.
22,78	10,1000	unendlich	
22,80	10,1082	16,25	50
22,94	10,1072	1,95	6
23,10	10,2415	0,97	3
23,26	10,3137	0,65	2
23,76	10,5363	0,325	1
24,29	10,7685	0,216	8 Zoll.
24,83	11,0108	0,162	6 „
26,00	11,5289	0,182	4 „
30,25	13,4132	0,054	2 „

7. Mechanismus der Accommodation. Nach Erledigung der wesentlichsten dioptrischen Phänomene gehen wir über zu dem Mechanismus, welcher die Einrichtung des Auges besorgt, oder wie wir nach der Entdeckung von Cramer und den Messungen von Helmholtz kurzweg sagen können, zu dem Mechanismus, welcher die Flächen der Linse bald mehr und bald weniger krümmt. Betrachtet man von diesem Gesichtspunkt die Linse und ihre Verbindungen, so gewinnt man bald die Ueberzeugung, dass zu dem genannten Behuf ein ganz besonderer Einrichtungsapparat im Innern des Auges angebracht ist, welcher sich aus der Linse, dem Glaskörper, der Aderhaut, dem Brücke'schen Muskel und der Iris zusammensetzt.

Einrichtungsmittel.

A) Linse und Glaskörper; beide sind in so innige Beziehung gebracht, dass Form- und Spannungsänderungen des Glaskörpers nothwendig von Einfluss sein müssen auf Lage, Form und Spannung der Linse. Gemäss ihrer Einlagerung und Anheftung in die tellerförmige Grube, wird die Linse vorwärts und rückwärts gedrängt

werden, wenn sich die Länge des Glaskörpers ändern könnte, oder es muss, insofern dieses nicht geschehen kann, jedes Bewegungsbestreben des Glasskörpers sich als ein Druck gegen die hintere Linsenfläche äussern. Nicht minder müssen sich die Spannungen des Glaskörpers auf die vordere Linsenfläche übertragen, da sich von der Glashaut ein gefaltetes Blatt, die zonula Zinnii, abspaltet, um sich an der vordern Wand der Linsenkapsel anzuheften; je nachdem der seiner vielen Häute wegen zähflüssige Glaskörper einen Druck von den Seiten oder von hinten empfängt, muss die zonula die Vorderfläche bald mehr und bald weniger abplatten oder wölben. Diese Formveränderung wird ein Zug, der im Glaskörper wirksam ist, um so eher ausführen können, als zwischen den beiden Blättern, welche die Linse hinten und vorn umfangen, ein mit Wasser erfüllter Raum besteht, der wegen der Verschieblichkeit des Inhalts der gefalteten zonula Bewegungen gestattet; es scheint sogar, als ob die Behauptung nicht gewagt wäre, dass ein Druck, der senkrecht auf die Achse des Glaskörpers ginge, die Linse wölben müsste, denn in Folge eines solchen wird Flüssigkeit des Petit'schen Kanals gegen den Aequatorialrand der Linse getrieben, und die zonula nach vorn geschoben d. h. erschlafft. Der Druck, den dann die Flüssigkeit ausübt, wird sich nur als ein seitlicher, senkrecht auf die Längenachse der Linse wirkender, die letzte somit vergrössernder, äussern können, weil die vorhandene vor- und rückwärtsdrückende Kraft der Flüssigkeit sich gegenseitig aufhebe, da sie gleichzeitig auf den vordern und hintern Rand der Linse geschehen. Umgekehrt scheint es, als ob ein Druck, der in der Richtung der Glaskörperachse selbst erfolgt oder der die Falten der zonula vertieft, mittelst dieser die vordere Linsenfläche abplatten müsste, da auch er keine Ortsverwendung der Linse erzeugen kann, weil ein solcher Druck auch auf die Hinterfläche der Linse, durch Spannung des ganzen Glaskörpers wirken müsste. So einleuchtend dieses erscheinen mag, so ist doch immerhin Vorsicht bei der Annahme dieser Vorstellungen zu gebrauchen, da man weder weiss, wie weit sich im Glaskörper die nach einseitigen Richtungen wirkenden Drücke in allseitige umwandeln, und man noch weniger sagen kann, wie sich die Lumina der wasserführenden Faltenräume des Petit'schen Kanals bei verschieden Drücken ändern.

Zur Beurtheilung des Einflusses, den die so eben supponirten Drücke auf die Veränderung der Linsenform gewinnen, ist es nöthig, im Gedächtniss zu behalten, dass die innerhalb der elastischen

Capsel eingeschlossene Substanz aus Fasern besteht, die nach bestimmten Richtungen gewickelt sind; demnach müssen Drücke nach gewissen Richtungen der Formveränderung förderlicher sein, als andere; zudem empfangen dadurch die Linsentheile in Verbindung mit der Kapselelastizität eine bestimmte Gleichgewichtslage, in die sie unabhängig von äussern Drücken einzukehren streben.

B) Gefässhaut. In ihrer elastischen Grundlage sind neben einem zum Theil sternförmigen Pigmente die Gefässe eingelagert. Ueber die Bedeutung und die Eigenschaften der Grundlage ist so gut wie nichts bekannt. Den Gefässbau setzen wir als bekannt voraus und machen nur bemerklich, dass die Gefässe zum grossen Theil weit und sehr leicht ausdehnbar sind. Von dieser letzteren Eigenschaft überzeugt uns das Verhalten einer Quecksilbersäule, welche durch eine Oeffnung der Cornea mit der wässerigen Flüssigkeit in Verbindung gesetzt wird; mit sehr geringen Veränderungen im Blutdruck, der zunächst eine Veränderung des Durchmessers der Chorioidealgefässe erzeugen muss, steigt und fällt das Quecksilber in der Röhre nicht unbeträchtlich, oft um mehrere Millimeter, selbst wenn der Durchmesser der das Quecksilber haltenden Röhre 2—3 M. M. Durchmesser besitzt (C. Weber)*). Contraktile Elemente und Nerven sind in den Häuten bis dahin nicht beobachtet. Sehr zu beachten ist es, dass die Chorioidea gleichsam in zwei Abtheilungen, in eine hintere (Chorioidea im engern Sinne) und in eine vordere (corpus ciliare) gebracht ist. Der Gegensatz zwischen beiden Theilen ist ausgesprochen durch die besondere Gefässanordnung und durch den Umstand, dass der Ab- und Zuflüss des Blutes zu beiden Theilen besondere Wege geht oder mindestens einschlagen kann. Sie wird von Bedeutung durch den Umstand, dass die Augenflüssigkeiten, welche von der hintern Abtheilung umschlossen werden, nicht mit denen der vordern communiziren können.

Von unzweifelhafter Bedeutung für den Vorgang der Adaption wird die Aderhaut, weil sie zwischen den Muskeln, die direkt oder durch den Glaskörper auf die Linse wirken, und diesen letztern Gebilden selbst eingeschoben ist. Sie überträgt also den Muskeldruck, und zwar je nach dem Spannungs- und Füllungsgrade ihrer Gefässe, mehr oder weniger vollkommen auf die genannten Organe. Ihre Bedeutung ist ferner dadurch festgestellt, dass die plicae ciliares

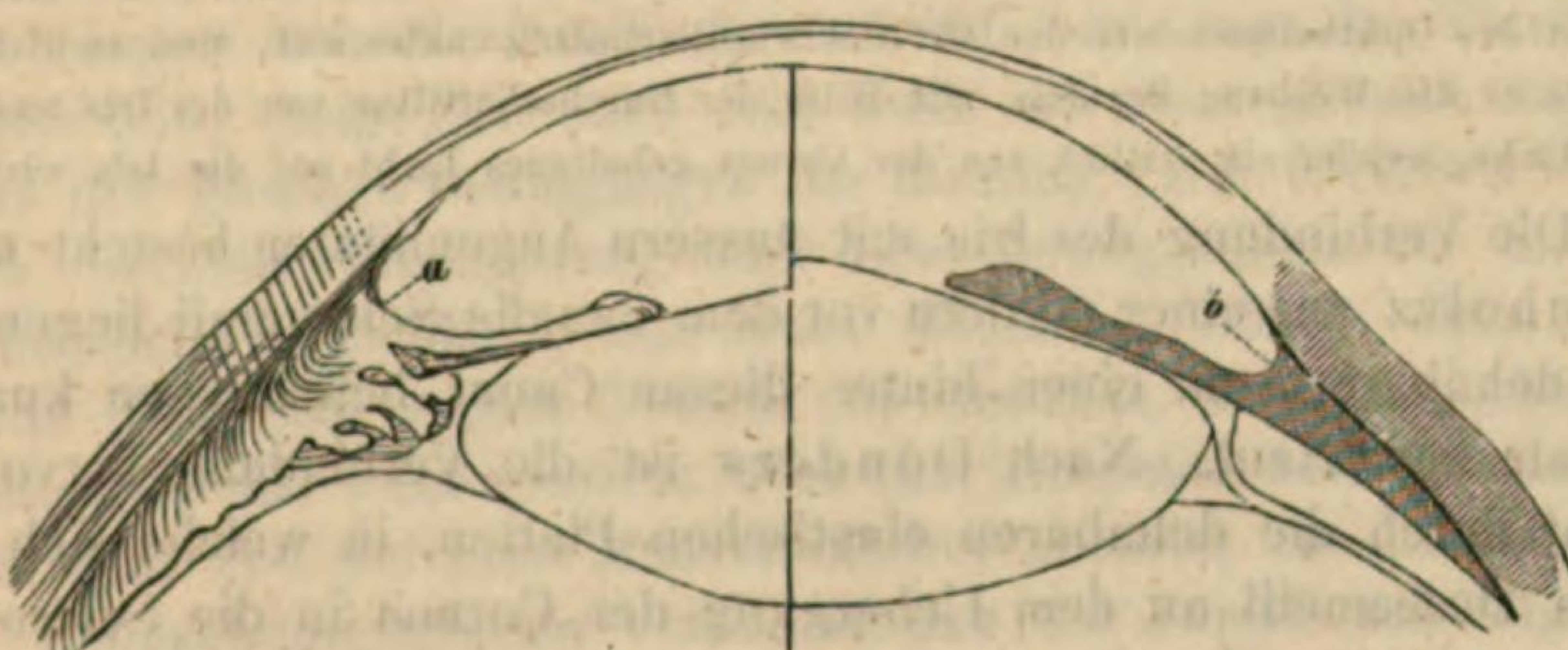
*) C. Weber. Nonnullae disquisitiones quae ad faculatem etc. — Marburg 1850. Valentin's Jahresbericht über Physiologie für 1850.

auf die Falten der zonula senkrecht zur Glaskörperachse (?) drücken, sodass mit steigender Spannung die Vorderfläche der Linse abgeplattet werden muss. Sollte sich gar die Beobachtung von L. Fick bestätigen, dass sich, vermöge der Wandcontraktionen, die Lumina der Cillargefässe verengern könnten, oder dass durch Zusammenziehung des tensor chorioideae die ausführenden Gefässe comprimirt würden, so dürfte es sich der Mühe lohnen die Folgen einer solchen partiellen Spannungsänderung einer gründlichen Zergliederung zu unterwerfen.

C) Iris *).

Sie liegt unter allen Umständen mit dem grössten Theil ihres freien Abschnittes auf der vordern Linsenfläche; je nach der Adaption des Auges verändert sie also ihre Wölbung. In der von Helmholtz entworfenen Figur (62) ist sie in ihren beiden Grenzlagen darge-

Fig. 62.



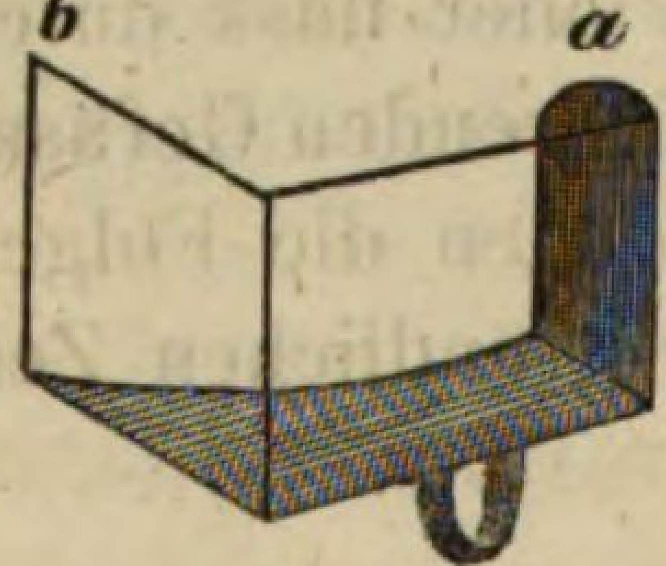
stellt. Bei der Einstellung für die Ferne liegt der äussere Irisumfang etwas der Cornea an (*a*), im übrigen ruht sie auf der abgeflachten Linse; während des Sehens in die Nähe rückt ihr äusserer Rand nach hinten und das in der ersten Stellung anliegende Stück entfernt sich zugleich von der Hornhaut, zugleich wird der Pupillarring durch die stärkere Linsenwölbung gegen den Hornhautscheitel geschoben. Dieses so eben beschriebene Verhalten der Wölbung ist jedoch nicht für alle Augen giltig. Nach den Angaben von Helmholtz ist nämlich in kurzsichtigen Augen die Iris gar nicht gewölbt und Czermak fand sogar immer ihre Ebene senkrecht zur Augenachse.

Die Ansicht, welche durch die unmittelbare Betrachtung des Auges von der Lage der Iris gewonnen wird, ist nicht die wahre, da die mit Kammerwasser gefüllte Hornhaut,

*) Helmholtz, physiolog. Optik. Leipzig 1856. — Budge, Bewegung der Iris. Braunschweig 1855. — E. H. Weber de motu iridis. Leipzig 1853. — v. Recken, in Onderzoekingen gedaan in het physiologisch Laborator etc. Jaar VII. 1854—1855.

von der Iris ein der Cornea genähretes und vergrössertes Bild entwirft, das selbst unter Voraussetzung einer ebenen Iris gewölbt sein würde*). Um das wahre Sachverhältniss zu ermitteln, bedient sich Czermak**) des Orthoscops (Fig. 63), wie man sieht, eines sechsseitigen Kästchens, dessen obere und hintere Seite offen und dessen vordere mit einer Glasplatte geschlossen ist. Nach dem er die hintere offene Seite vor das Auge an die Wange mit Kautschouk wasserdicht angeschlossen hat, füllt er den Binnenraum des Kästchens mit lauwarmen Wasser, und betrachtet durch die vorderen und seitlichen Wasserschichten das Auge. Aus der schon entwickelten Theorie der Lichtbrechung ergibt sich, dass durch das Eintauchen der Cornea in Wasser ihre optischen Wirkungen eliminirt sind.

Fig. 63.



Helmholtz hat verwickeltere aber genaue Messungen zulassende Verfahrungsarten zur Gewinnnung der richtigen Ansicht in Anwendung gebracht. Zuerst that er dar, dass der Pupillarrand der Iris sich der Linse anschliesst, und zwar durch die Abwesenheit eines jeglichen Irisschattens auf der Linse; Donders, der eine kleine Verdunkelung im vordern Abschnitt seiner Linse trägt, hat durch entoptische Beobachtungen die Richtigkeit der Ansicht von Helmholtz bestätigt. — Darauf suchte Helmholtz mittelst des Ophthalmometers den Ort des Pupillenmittelpunktes auf, und endlich bestimmte er die Wölbung der Iris, mit Hilfe der Durchschnittline von der Iris und der Brennfläche, welche ein seitlich von der Cornea gehaltenes Licht auf die Iris wirft.

Die Verbindung der Iris mit äussern Augenhäuten besteht nach Helmholtz aus einer vordern vor dem canalis Schlemmii liegenden sehr dehnbaren und einer hinter diesen Canal befindlichen kurzen und straffen Haut. Nach Donders ist die Verbindung hervorgebracht durch die dehnbaren elastischen Platten, in welche sich die tunica Descemetii an dem Uebergang der Cornea in die Selerotica auflösst; in dieselben Platten geht auch der Brück'sche Muskel über.

An Muskeln besitzt die Iris bekanntlich eine ringförmige und eine strahlige Faserung. Einige Anatomen lassen die Radialfasern gegen den Cornealrand hin in die Platten der membr. Descemetii übergehen, andere lassen ihre Verbindungen am bezeichneten Ort noch ungewiss.

Die Ringfasern sind dem n. oculomotorius, die Strahlenfasern einem Aste des sympathischen Halsstrangs unterthan. Denn nach Durchschneidung (Lähmung) des oculomotorius oder Reizung des sympathicus erweitert sich die Pupille, und umgekehrt nach Erregung des oculomotorius und Durchschneidung des sympathicus verengert sie sich.

*) Berechnungen über die optische Wirkung der Cornea und des Kammerwassers auf die Gestalt, Lage und Vergrösserung der Iris; siehe bei Zehender l. c. p. 58.

**) Prager Vierteljahrsschrift XXXII. Bd.

Ausserdem soll auch der n. trigeminus einen direkten Einfluss auf den Kreismuskel üben. Den Beweiss dafür findet man darin, dass unmittelbar nach der Durchschneidung des ram. I. n. trigemini vor seiner Verbindung mit dem sympathischen Aste die Pupille sich verengt, wenn auch vorher schon der oculomotorius durchschnitten gewesen. Man betrachtet diese Verengerung, obwohl sie sehr allmählig erst weicht, als Folge eines tetanischen Erregungszustandes im n. trigeminus. Bestärkt wird diese Anschauung dadurch, dass bei Fröschen durch direkte Erregung der Nerven eine Pupillenverengerung eintritt; eine freilich sehr wankende Stütze, da durch Reizung des sonst nachweisslich leitungsfähigen trigeminus der Säugethiere der genannte Erfolg ausbleibt (Budge)*).

Die Bewegungen der Iris, welche sich der Muskelanordnung gemäss als eine Durchmesserveränderung des Pupillenkreises äussern, haben der eigenthümlichen Umstände wegen, unter denen sie eintreten, von jeher die Aufmerksamkeit gefesselt. Die alleinige Zusammenziehung des radialen Muskels erweitert, die des circularen verengert sie; wenn beide Muskeln oder ihre zugehörigen Nerven gleichzeitig und gleich stark durch electrische Schläge erregt werden, so verengert sich die Pupille beträchtlich, so lange die Thiere am Leben sind; einige Zeit nach dem Tode erweitert sie sich dagegen unter den gleichen Bedingungen der Reizung (Ed. Weber). Demnach beweisst Verengerung oder Erweiterung nichts für die ausschliessliche Contraktion nur eines Muskels. Die so eben mitgetheilte Erfahrung erhebt jedoch das Resultat, dass im Leben der Constrictor das Uebergewicht über den Dilatator besitzt, und dass nach dem Tod der erste Muskel rascher abstirbt, als der letztere.

Beobachtungsgemäss verändert sich die Pupille mit folgenden Bedingungen. 1. Erregung des n. opticus verengert auf reflektorischem Wege die Pupille, und zwar gilt diese Beziehung nicht bloss doppelseitig, sodass sich die Pupille des einen Auges ebensowohl verengert, wenn der gleichseitige als wenn der ungleichseitige Sehnerv erregt wird; fügt man hierzu die bekannte Erfahrung, dass unter allen Umständen die beiden normalbeweglichen Pupillen gleichweit sind, so darf man daraus folgern, dass der reflektorische Hirnort der Iris beider Augen gemeinsam ist, indem er von beiden nn. opticis Erregungen empfangen und diese gleichmässig auf die beiden Iris übertragen, resp. vertheilen kann. Vorausgesetzt, dass der nerv. opticus durch Licht erregt wird, gelten für die ausgesprochenen Beziehungen folgende Regeln. a) Wenn die Intensität des Lichts, welche in das Auge fällt, abnimmt, so wächst der Pupillendurchmesser in einem noch unbekannten, durch die Indivi-

*) l. c. p. 97 u. f.

dualität veränderlichen Verhältniss mit der Lichtschwächung (Lambert, Olbers, Budge, Beer *)). — b) Trifft Licht gleicher Intensität bald die Mitte und bald die Seitentheile der Retina, so verengert sich die Pupille im ersten Fall mehr, als im letzten (E. H. Weber **)). — c) Trifft Licht von gleicher Intensität erst nur ein und dann die beiden Augen gleichzeitig, so verhält sich der Pupillendurchmesser bei binocularen zu dem bei zweiäugigen Sehen wie $1 : \sqrt{2}$ (Dubrunfaut ***); beim einäugigen Sehen nimmt demnach der Pupillendurchmesser so lange zu, bis die Basis des einen Lichtkegels annähernd denselben Flächeninhalt besitzt, welcher der Summe beider Basen beim binocularen Sehen zukommt. — 2. Durch Erregung der sensiblen Nasen- und Augenäste des trigeminus kann die Pupille reflektorisch verengert werden †). — 3. Die Pupille verengert sich unabhängig von der Lichtstärke, wenn ein stets scharf gesehener Gegenstand sich dem Auge nähert. Nach Olbers ††) ist der Unterschied der Pupillenweite für gleiche Abstandsunterschiede des Gegenstandes um so grösser, in je geringer Entfernung das Objekt vom Auge steht. So vergrösserte sich beispielsweise der Pupillendurchmesser um 0,18 Linien, als der Gegenstand von 4 auf 8 Zoll Entfernung rückte, dagegen gewann er nur um 0,04 Linien, als sich der Gegenstand von 24 auf 28 Zoll entfernte. Die Pupillenveränderung kann unter den eben angegebenen Bedingungen von zwei Umständen abhängen, nämlich von der veränderten Convergenz der Sehachsen und dem geänderten Accommodationszustande des Auges; denn beide Umstände wirken hier in demselben Sinn, da mit der steigenden Annäherung eines Gegenstandes die Convergenzwinkel beider Augenachsen sowohl, wie die Accommodationsanstrengungen im Wachsen begriffen sind. Zur Ermittelung des wahren Abhängigkeitsverhältnisses müssen also die beiden Vorgänge gesondert werden. a) Wenn man die Augen convergiren lässt, während sie für die Ferne accommodirt bleiben, so ergab sich als constantes Resultat, dass die Pupillen sich um so mehr verengen, je mehr die Augenachsen nach innen gerichtet werden. Da aber die gegebene Richtung der Augen abhängig ist von einer Erregung des oculomotorius, so bedeutet diese Erfahrung wohl auch, dass mit einer Anstrengung der Augenmuskeläste des oculomotorius

*) Budge, Bewegung der Iris 1855. p. 145 u. f.

**) E. H. Weber l. c. p. 84 et seq.

***) Gazette medicale de Paris 1856. Januar.

†) Budge l. c. 101.

††) E. H Weber l. c. p. 89 u. f.

auch die der Iris verbunden ist. — b) Der Erfolg des andern Versuchs, bei gleichgerichteter Augenachse das Auge bald für die Nähe und bald für die Ferne einzustellen, hat bis dahin noch nicht zu übereinstimmenden Angaben geführt. Die grössere Zahl der Beobachter (Ruiter*), Cramer**), Donders) behauptet mit Plateau, dass sich mit steigender Accommodation für die Nähe auch die Pupille verengere, während E. H. Weber dieses läugnet. Nach eignen Beobachtungen muss ich mich den Angaben von Weber anschliessen; Szontagh, ein physiologisch gebildeter junger Arzt in Wien, ist im Stande, in die Nähe zu sehen und willkürlich die Pupille zu erweitern und zu verengern und umgekehrt. — 4. Der Durchmesser des Sehlochs wird im Schlaf kleiner; während desselben neigt sich meist das Auge nach oben und innen, daraus würde sich die Verengerung erklären lassen, wenn nicht dargethan wäre (Rüte), dass einzelne Individuen mit enger Pupille und geradeaus gestellten Augen schlafen. Man ist auch geneigt gewesen, die Erscheinung als Beweis dafür gelten zu lassen, dass im Ruhezustand die Pupille eng sei, um so mehr, als in der Chloroformnarkose und in der Asphyxie die Pupillen sich verengen (Rüte). — 5. Veränderungen im Blutgehalt der Augengefässe, wie man sie am Kaninchen im entgegengesetzten Sinn erzeugen kann durch Compression des truncus anonymus und der Carotiden oder der grossen Venen, bedingen nach Kussmaul***) Schwankungen im Pupillendurchmesser. Nach Compression der a. anonyma verengen sich anfänglich Lidspalte und Pupille und dann erweitert sie sich wieder, als ob der Blutmangel zuerst Nerven erregend und dann lähmend wirkte. Wird der Blutstrom während des ersten Stadiums wieder hergestellt, so tritt der Augapfel hervor, Lidspalte und Pupille erweitern sich sehr beträchtlich, und noch mehr als selbst im zweiten Stadium der Compression. Analoge Erscheinungen folgen nach Blutentziehungen, grosse Aderlasse wirken wie anhaltende, kleine wie vorübergehende Compressionen. Ueberfüllung des Augapfels mit Blut bis zu dem Grad, dass der Augapfel weit aus der Höhle hervortritt, verändert nur zuweilen den Pupillendurchmesser. — 6. Die örtliche Anwendung einiger Gifte

*) de actione atropae Belladonnae. Utrecht 1853.

**) Het accomodatie ver mogen. Harlem 1853. p. 115.

***) Untersuchungen über den Einfluss, welche der Blutstrom auf die Bewegung der Iris etc. ausübt. Würzburg 1855. Ausser den in Text erwähnten Bewegungen beobachtete Kussmaul auch noch andere an den Augenmuskeln, der Nase, dem Ohr u. s. w., auf die hier nur hingewiesen werden kann.

in wässeriger Lösung und namentlich des Aconits, des Datura stramm., des Hyoscyamus, des Opiums, der Blausäure, der Digitalis, Ergotins, Coniins und vor allen des Atropins erzeugen Erweiterung, des Lactuca virosa dagegen Verengerung der Pupille (Ray, Himly, de Ruiter). Die Erweiterung, welche das Atropin erwirkt, ist besonders genau untersucht worden und auf sie beziehen sich die folgenden Mittheilungen. a) Nur die Pupille der Säugethiere und Amphibien wird entschieden erweitert und zugleich unbeweglich, die der Vögel, deren Sphincter quergestreifte Fasern enthält, dagegen sehr wenig (Kieser). — b) Die Erweiterung tritt sehr allmählig ein und dauert je nach der Conzentration der angewendeten Atropinlösung und der Individualität des Auges Tage und selbst Wochen lang fort. — c) Mit der Erweiterung der Pupille des beträufelten Auges geht eine Verengung der anderseitigen Pupille Hand in Hand, offenbar wegen der starken Lichtwirkung auf das Auge mit weitem Sehloch (Zehender, Seitz). — d) Am ausgeschnittenen Auge kann die Pupillenerweiterung noch erzeugt werden, so lange die Muskeln der Iris noch erregbar sind. Daraus folgt, dass die Wirkung des Giftes unmittelbar auf die bewegenden Elemente der Iris wirkt (de Ruiter). — e) Nach der eingetretenen Erweiterung kann der Pupillenschliesser weder durch den Willen, noch durch Reflexe, selbst wenn der Sympathicus gleichzeitig durchschnitten worden war, in Bewegung gesetzt werden. Desgleichen bedingt eine direkte Anwendung elektrischer Schläge auf die vergiftete Iris keine Pupillenverengerung. Daraus folgt, dass die Pupillenschliessenden Mittel durch das Atropin gelähmt werden. — f) Die Erweiterung tritt, jedoch in beschränktem Maasse ein, wenn der zum beträufelten Auge gehende Sympathicus vorher durchschnitten wurde (Cramer); Erweiterung kann unter diesen Umständen ebensowohl durch die elastischen Kräfte der Iris, als durch örtliche Reizung des Dilatators erzeugt sein; diese letztere Meinung gewinnt an Wahrscheinlichkeit nicht allein darum, weil immerhin die Erweiterung noch sehr beträchtlich ist, sondern auch desshalb, weil die Pupille eines narkotischen Auges, dessen Sympathicus unverletzt blieb, durch örtliche electrische Schläge nicht noch mehr erweitert werden kann. Diese Erfahrungen von de Ruiter stellen also das ungemein merkwürdige Resultat fest, dass dasselbe Gift auf die beiden Irismuskeln jedenfalls verschieden einwirkt. Von diesen Gesichtspunkt aus muss eine Untersuchung des pupillenverengernden Giftlattichs sehr wünschenswerth erscheinen.

Ueber die Pupillenveränderung in der Todenstarre und ihre Verengerung an längst ausgeschnittenen Amphibienaugen, unter dem Einfluss des von vorn auf die Retina wirkenden Lichtes, siehe Brown-Séquard und Budge*). Zur Messung des Pupillendurchmessers am eignen Auge geben Lambert und Stampfer**) Methoden an. Der erstere sieht sich in einem parallel zur Irisfläche gelegenen Spiegel und hält (nach der Verbesserung von Olbers) einen geöffnetnen Zirkel nahe vor das Auge, dessen Oeffnung er im Spiegel in Uebereinstimmung bringt mit dem Durchmesser der Pupillenapertur. Zehender findet diese sinnreiche Methode sehr genau. — Stampfer projicirt einen Zerstreuungskreis auf der Retina, dessen Durchmesser bekanntlich der Pupilleneröffnung entspricht, auf einen Maassstab. —

D) Brücke's Muskel.

Seine Muskelfasern sind wie die der Iris radiale und zirkulare. — Die Längsfasern liegen auf der nach aussen (nach der Sclerotica) hin gewendeten Seite des Muskels; von aussen nach innen nehmen sie an Länge bedeutend ab, so dass nach der von H. Müller gegebenen Abbildung die am meisten nach innen gegen die Chorioidea gelegenen Längsfasern um mehr als ein Drittheil (nach van Reecken um das zehnfache) kürzer sind, als die unmittelbar an die Sclerotica grenzenden; an der Nasenseite des Auges sind sie ausserdem länger als an der Schläfenseite (v. Reecken***)). Nach vorn entspringen sie von den elastischen Platten der tunica Descemetii, nach hinten gehn sie in das Bindegewebe der Chorioidea und der plicae ciliares über. Ihrem Verlauf gemäss können sie noch während der Verkürzung die Chorioidea nach vorn ziehen, damit die zonula Zinii erschlaffen (Brücke), einen Druck auf den Glaskörper und zugleich einen Zug auf denselben nach vorn üben, der sich gegen die Hinterfläche der Linse fortpflanzt. Für das wirkliche Bestehen dieser Wirkungen führt Cramer †) einen Versuch von Seehundsaugen an, dessen Iris künstlich abgetrennt war. Wurde dieses Auge den Induktionsschlägen ausgesetzt, so spannten sich die Ciliarfortsätze an (?). Ausser der so eben geschilderten Veränderung können sie aber auch noch eine andere erzeugen. Wenn die elastischen Platten am Ursprungsort nachgiebiger sind, als das Stroma der Chorioidea, so ist ihr Zug auch im Stande, diese zu verlängern, und da sich an ihnen auch die Iris befestigt, so sind sie vermögend, den äussern Rand der Iris nach hinten zu bringen (Donders). Zu Gunsten dieser Leistung konnte angeführt werden, das von Helmholtz beobachtete nach Rückwärtsweichen der äussern Iris-

*) l. c. p. 60 u. f. 67 und 136 u. f.

**) Weber l. c. p. 84. — Wiener Sitzungsberichte VIII. 511.

***) Onderzoekingen in het physiologisch Laboratorium etc. Jaar VII. 249.

†) l. c. p. 87.

ränder bei der aktiven Accommodation, vorausgesetzt dass zu der genannten Adaption unser Muskelantheil einen Beitrag liefert. Natürlich schliessen sich beide Alternativen nicht aus, ja es ist sogar wahrscheinlich, dass sie vereinigt vorkommen. Endlich muss jedenfalls, insofern sich die Längsfasern merklich verkürzen, eine Verdickung des Muskels in der Richtung von aussen nach innen stattfinden, und hierdurch muss, da die Sclerotica bis zur Unnachgiebigkeit gespannt ist, ein Druck auf Theile ausgeübt werden, welche an der Chorioidealseite des Muskels gelegen sind. Die Ringsfasern des tensor, die H. Müller*), der um das Auge so hervorragende Verdienste sich erworben, zuerst beschrieben hat, ziehen sich vorzugsweise durch das innerste vorderste angeschwollene Stück unseres Muskels; sie umspinnen also vorzugsweise den Theil des Ciliarkörpers, welcher gegenüber und etwas hinter dem Aequator der Linse gelegen ist. Ihre Verkürzung wird zu Wege bringen eine Pressung auf die Ciliarfortsätze und Falten der zonula; die in ihrem Kanal angehäufte Flüssigkeit soll damit gegen den Ciliarrand der Linse drücken (H. Müller).

Die Nerven sowohl wie die Bedingungen, unter welchen der Muskel in Erregung kommt, sind unbekannt, weil die Erregbarkeit sehr rasch nach dem Tode erlischt.

Einrichtungsbewegungen.

Die Betrachtung der Bewegungen, welche die Einrichtungen bedingen, setzt die Kenntniss der einrichtenden und eingerichteten Theile in der Nähelage**) voraus. Lange Zeit hindurch war man der Meinung, dass das Auge in der Nähe für die Ferne eingestellt sei; man berief sich hierbei auf die Beobachtung, dass ein Auge, das nach längerem Schluss der Augenlider plötzlich geöffnet werde, wirklich für die Ferne eingerichtet sei (Volkmann), und auf Cramer's Beobachtung der Linsenspiegelbildchen, deren gegenseitige Stellung nur beim Sehen in die Nähe, nicht aber bei dem in die Ferne abweicht von der in der Nähe vorhandenen. Zieht man jedoch ein den letztgenannten überlegenes Mittel zu Rathe, nämlich das Gefühl der Anstrengung, welches die willkürlich erfolgenden Einrichtungsveränderungen namentlich dann begleitet, wenn man recht scharf die äussersten Grenzen der Sehweite zu accommodiren sucht, so gewahrt man bald, dass das Auge weder

*) Archiv für Ophthalmologie III. 1.

**) Volkmann, Handwörterbuch der Physiologie. Art. Sehen 309. — Cramer, het accomodatio-vermögen etc. p. 51. — Zehender, Archiv für Ophthalmologie III. p. 2. 95.

für den Nähe-, noch für den Fernpunkt eingestellt ist (Donders, Th. Weber). Die Accommodationsbewegung muss demnach in eine solche für die Nähe und eine andere für die Ferne, oder wenn man will, in eine positive und eine negative unterschiden werden. Mit der letzten Annahme in Ueberstimmung, obwohl nichts für den Normalzustand beweisend, ist die bekannten Beobachtung, dass ein durch Belladonna vergiftetes Auge, dessen Accommodation fast vollkommen gelähmt ist, weder auf die Nähe noch auf die Ferne eingestellt ist (Zehender).

a) Positive Einrichtung*).

Wenn das Auge für die Nähe eingestellt wird, so wölbt sich, wie schon erwähnt wurde, die vordere Linsenfläche stärker, und ihr Scheitel rückt weiter nach vorn, die hintere Linsenfläche wölbt sich ebenfalls um ein geringes, ohne dass der Scheitel seinen Platz verlässt (die Linsenachse verlängert sich), zugleich aber verengt sich die Pupille, der Pupillenrand der Iris weicht nach vorn und der peripherische Rand nach hinten.

Als Erfahrungen, die zur Aufhellung des Zusammenhanges dienen, der zwischen den Veränderungen der Linse und Iris besteht, wären noch aufzuzählen. Am ausgeschnittenen Auge des Seehundes lassen sich noch positive Accommodationsveränderungen der Linse erzeugen, wenn man mittelst electrischer Schläge die Pupille verengert; die Accommodation kann jedoch trotz der Pupillenverengerung nicht mehr hervorgebracht werden, wenn man die Iris von der Pupille bis zur Cornea eingeschnitten hat (nach Erzeugung eines künstlichen Coloboma). Hat man durch anhaltende Reizung die positive Accommodation längere Zeit hindurch erhalten, und nimmt darauf die Linse aus dem Auge, so ist auf der vordern Fläche der Linse ein dem Pupillenrand entsprechender kreisförmiger Abdruck bemerklich, und das von diesen Kreis umschlossene Stück der Linsenfläche ist nach vorn gewölbt (Cramer). Nach einer mündlichen Mittheilung von Vivenot d. J. findet sich auch zuweilen an der herausgeschnittenen Linse des menschlichen Auges eine der Pupillenöffnung entsprechende Hervorwölbung. — Bei einer theilweisen Ablösung des peripherischen Irisrandes, oder einer angebornen Irisspalte, kann dagegen im menschlichen Auge die positive Einrichtung noch bestehen. Aehnliches gilt für einen eigenthümlichen Zustand der Mydriasis. Bei dieser Krankheit, die ihren sichtbaren Ausdruck durch eine Unbeweglichkeit der beträchtlich erweiterten Pupille empfängt,

*) Cramer, het Accommodatievermogen. Harlem 1853. — Helmholtz, physiolog. Optik Leipzig 1856. — Donders. Gräfe. Archiv für Ophthalmologie I. 1. 315. und II. 1. 187.

kann das Accommodationsvermögen aufgehoben oder erhalten sein; im ersten Fall kann entweder die Beweglichkeit der Pupille bei bleibender Lähmung der Accommodation eintreten, oder es kann auch umgekehrt die Pupille unbeweglich bleiben und trotzdem das Einrichtungsvermögen zurückkehren. (Gräfe). — Szontagh, welcher, wie schon erwähnt wurde, die Pupille (indem er zugleich die Halsmuskeln anstrengt) willkürlich zu erweitern vermag, accommodirte nach einer eigends von ihm in meinem Beisein angestellten Messung für seinen Nähepunkt ebenso gut mit einer Pupillenöffnung von 3,9 bis 7,1 M.M. Durchmesser. Bei ihm ist also die Accommodation unabhängig von der Pupillenweite.

Diese an und für sich ungenügenden und in sich widersprechenden Erfahrungen hat man durch einige Annahmen ergänzt und daraus den Mechanismus, der die Linsenwölbung bedingt, ungefähr so zusammenstellt. Während der Einrichtung werden die circularen und radialen Fasern der Iris gleichzeitig erregt und dadurch die ganze Iris gesteift und sie zugleich so gestellt, dass ihr peripherischer Rand nach hinten ausweicht; weil sie sich nun an die vordere Linsenfläche anlegt, so muss das zwischen der Pupillenöffnung gelegene Stück der Linse durch Pressung ihrer peripherischen Theile hervorgewölbt werden (Stellwag, Cramer, Donders). Um die geringe Wölbung der hintern Fläche unter Behauptung ihres alten Ortes zu erklären, nimmt man an, dass sich die Längsfasern des tensor zusammenziehen, welche die zonula erschlaffen und den Glaskörper nach vorn pressen; die Linse wird sich dann, entlastet von dem Druck der zonula in Folge ihrer Elastizität verdicken und der Druck des Glaskörpers gegen die tellerförmige Grube wird das Ausweichen der Linse nach hinten verhindern, und zugleich würde die Wölbung der hintern Linsenfläche, die in Folge der eintretenden Verdickung zum Vorschein käme, zum Theil wieder aufgehoben durch den Druck der Iris (Helmholtz).

Die Beobachtungen von Cramer und Helmholtz stellen es ausser Zweifel, dass den Krümmungsänderungen der Linse ein wesentlicher Antheil an der Einstellung des Auges beigemessen werden muss; daneben kann es aber zweifelhaft bleiben, ob sie die einzigen Mittel für die positive Accommodation sind. Man würde auf einen Angriff gegen die Ausschliesslichkeit der Linsenwirkung erwiedern können, dass die gemessenen Krümmungen vollkommen ausreichen zur Erläuterung der aktiven Einrichtung (p. 271 d), dass nach einer Paralyse aller andern Muskeln des Auges, die innern ausgenommen, das Einrichtungsvermögen in voller Integrität besteht (Gräfe*)), dass bei der Einrichtung für die Nähe niemals eine Veränderung in der Hornhautkrümmung (Senff, Kohlrausch, Helmholtz) vorkommt und dass sie auch ohne eine Verlängerung

*) l. c. II. 1. pag. 191.

der Augenachse (Young*)) eintreten könne. Aber diese Einwürfe beweissen nicht mehr, als dass die Linsenveränderungen den weitaus wichtigsten Faktor für unsern Vorgang bilden; man könnte sogar die ganze Verhandlung als eine gleichgiltige bezeichnen, wenn nicht eine bis dahin unerklärte Thatsache zur Vorsicht mahnte, die nämlich, dass nach der Extraktion der Linse ein, wenn auch immerhin sehr schwacher Rest des positiven Adaptionsvermögens übrig bliebe (Gräfe**)).

Die Nerven, welche den Accommodationsapparat in Bewegung setzen, sind unbekannt. Eine Beobachtung von Gräfe, bei der die Aeste des n. oculomotorius zu den Augenmuskeln und der Iris gelähmt waren, und bei der dennoch ein nur in geringem Grade geschwächtes Accommodationsvermögen bestand, machen wahrscheinlich, dass der oculomotorius keineswegs der Einrichtungsnerv sei.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Einrichtungsbewegungen vollendet werden, ist keine sehr grosse; denn wenn man das Auge aus einer Accommodation für grössere in solche für möglichst geringe Entfernungen überführt, gewahrt man deutlich den allmähligen Uebergang eines Zustandes in den andern.

Die Erregung des Einrichtungsapparates geschieht vom Willen aus, und zwar ebensowohl isolirt, als auch in Verknüpfung mit andern gleichzeitig erfolgenden Bewegungen. So ist namentlich seine Erregung mit der einiger Augenmuskelnerven so innig verknüpft, dass es erst nach längerer Uebung gelingt, bei paralleler Stellung der Augenachse in die Nähe und bei stark convergirender in die Ferne zu accommodiren. Selbst wenn diese Uebung erworben ist, kommt häufig noch ein unvollkommenes Resultat zu Stande, wenn man nicht durch die Einstellung beider Augen auf das gesehene Objekt von der wahren Entfernung desselben unterrichtet ist. Der Beweiss hierfür wird geliefert, wenn man mit einem Auge durch enge Oeffnungen (Scheiner's Versuch) auf einen Gegenstand hinsieht. Mannigfache Versuche beweissen, dass man dann niemals genau für die Entfernung des Gegenstandes eingestellt hat (Gräfe***), Czermak). — Zweifelhaft ist es, ob die einrichtenden Muskeln auch mit einer reflektorisch erfolgenden Verengerung der Pupille in Bewegung kommen; wenn dieses geschieht, so ist zum mindesten der Zusammenhang beider Bewegungen

*) Helmholtz, l. c. p. 117.
**) l. c. II. 1. p. 187.
***) Archiv für Ophthalmologie II. 1. p. 161.

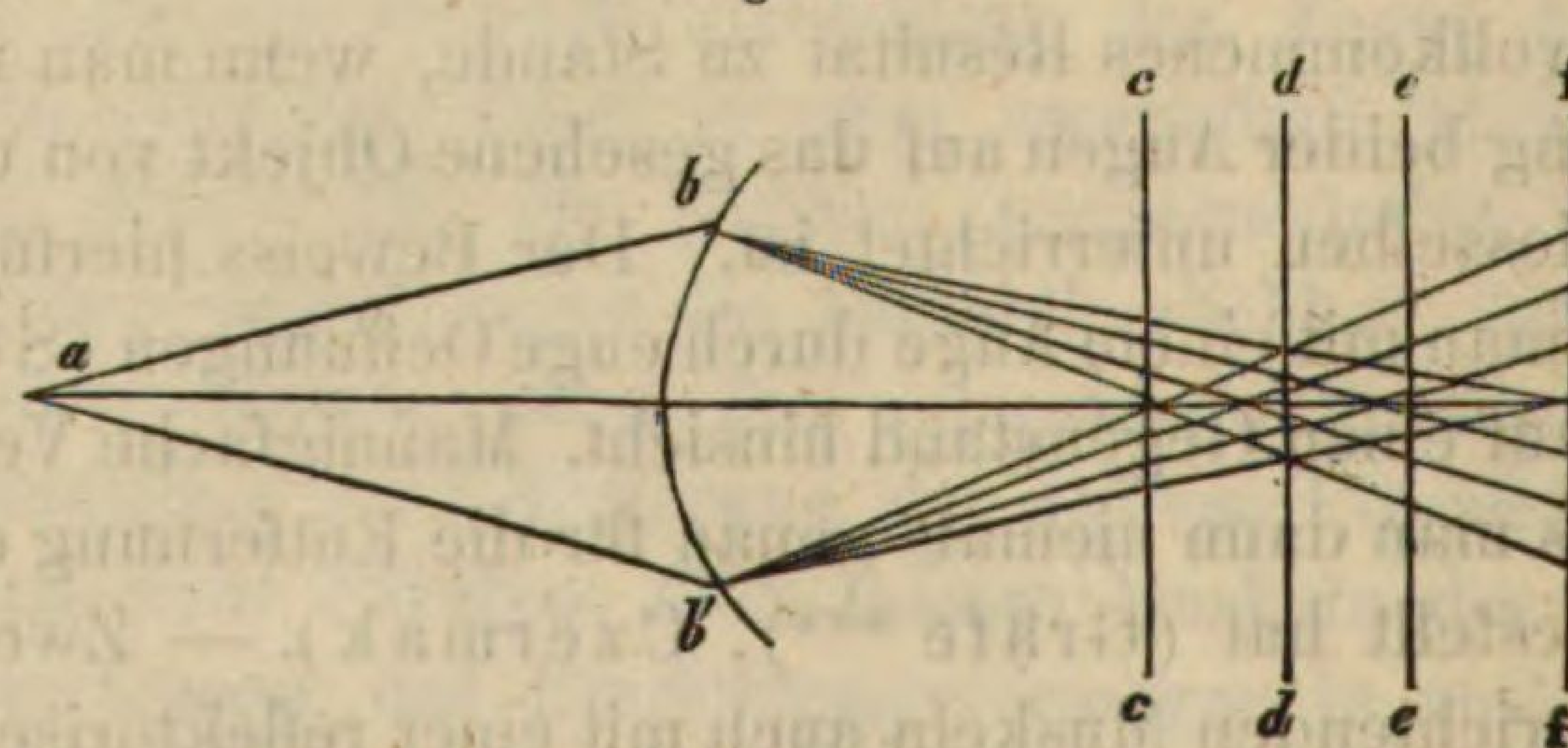
ein lockerer, da wir die Einstellung auf ein Objekt unverrückt erhalten können trotz einer sehr verschiedenen Lichtstärke desselben, also trotz einer wechselnden Pupillenweite.

b) Negative Accommodation; der Mechanismus einer Adaption des Auges für convergirende Strahlen (Th. Weber) ist gänzlich unbekannt; nur so viel steht fest, dass diese Accommodation eine grosse willkürliche Anstrengung erfordert.

Zu den Mitteln, die sie möglicherweise erzeugen, zählen vielleicht Pressungen der Augenmuskeln auf die Hornhaut oder der Ziliarfortsätze auf die zonula; dass die letztern die Wölbung der Linse abflachen und ihre Achse verkürzen, ist uns schon bekannt geworden. Ein ähnliches scheint von den Augenmuskeln für die Hornhaut zu gelten; ein Druck auf die Augenflüssigkeit erzeugt nämlich, nach den Versuchen von Helmholtz, eine Abflachung der Hornhaut, und zwar darum, weil das Auge, um mehr Räumlichkeit zu gewinnen, der Kugelform sich annährt, wodurch die einspringenden Winkel zwischen Hornhaut und Sclerotica ausgeglichen werden. Gräfe und nach ihm Breton*) haben sich in der That überzeugt, dass ein kurzsichtiges Auge, auf dem ein Fingerdruck lastet, weitsichtiger wird. Dieser Versuch hat mir bis dahin am eignen, kurzsichtigen Auge nicht gelingen wollen.

c) Chromatische Abweichung**). Gemischtes Licht, d. h. solches, welches aus Aetherschwingungen von verschiedener Wellenlänge zusammengesetzt ist, wird durch Brechung in einfaches zerlegt; bekanntlich geschieht dieses darum, weil der Brechungsindex der verschiedenen einfachen Lichtarten in ein und demselben Mittel nicht gleich gross ist. Da nun im Auge die Brechungen an allen Flächen in demselben Sinne erfolgen, denn überall wird hier das Licht der Achse zugelenkt, so muss auch im Auge eine Zerlegung des gemischten Lichtes geschehen. Aus dieser theoretischen Betrachtung wäre zu folgern, dass das Bild eines von weissem Licht

Fig. 64.



erleuchteten Gegenstandes an seinen Rändern immer farbig erscheinen müsste, denn wenn in Fig. 64 *a* einen weissleuchtenden

*) Gazette medicale. Januar 1857.

**) Helmholtz, Physiolog. Optik. 215. — A. Fick, Archiv für Ophthalmologie II. 2. p. 70. Bd. Physiol. Physik p. 315. — Czermak, Wiener Sitzungsberichte XVII. 563.

Punkt darstellt, dessen auf die Pupillenöffnung fallende Randstrahlen durch *ab* und *ab'* gegeben sind, so würden, vermöge der ungleichen Brechbarkeit der in weissem Licht enthaltenen Wellen, jenseits der Linse die violetten Antheile am stärksten und die rothen am wenigsten gegen die Achse convergiren. Wohin wir also auch die Retina versetzen, ob in den Brennpunkt der violetten *(cc)*, der blauen *(dd)*, der gelben *(ee)* oder der rothen *(ff)* Strahlen, immer müsste um die wegen ihres Gehaltes an gemischtem Licht weiss erscheinenden Mitte des Bildes ein gefärbter Raum auftreten, und zwar ein rother Saum, wenn die Retina am Brennpunkt der violetten Strahlen steht und umgekehrt ein violetter, wenn sie sich am Brennpunkt der rothen findet. — Eine zweite Folgerung der Theorie verlangt, wie aus der Betrachtung der Figur (62) sogleich hervorgeht, dass, wenn der Gegenstand *a* in violettem Licht strahlt, das Auge weniger energische Accommodationsbewegungen auszuführen hat, als wenn er roth beleuchtet ist, weil im letztern Fall die geringere Brechbarkeit durch eine grössere Krümmung der Linsenflächen ersetzt werden muss. Drückt man diesen Satz mit Rücksicht auf den Fern- und Nähepunkt aus, so heisst das: der Nähepunkt liegt für violettes Licht (das brechbarste) näher als für blau, grün, gelb, orange, roth, und umgekehrt, der Fernpunkt liegt für rothes Licht (das am wenigsten brechbare) weiter entfernt, als für orange, gelb, grün, blau, violett.

Die zuletzt gemachte Folgerung ist von Fraunhofer und dann von Matthiesson und Helmholtz bestätigt worden. Aus den Messungen des letzteren geht hervor, dass der Fernpunkt seines Auges für rothes Licht in 2,6 Meter, für violettes in 0,485 Meter und für überviolettes gar nur in 0,050 bis 0,100 Meter Entfernung lag. Zu ähnlichen Resultaten kamen die andern Beobachter.

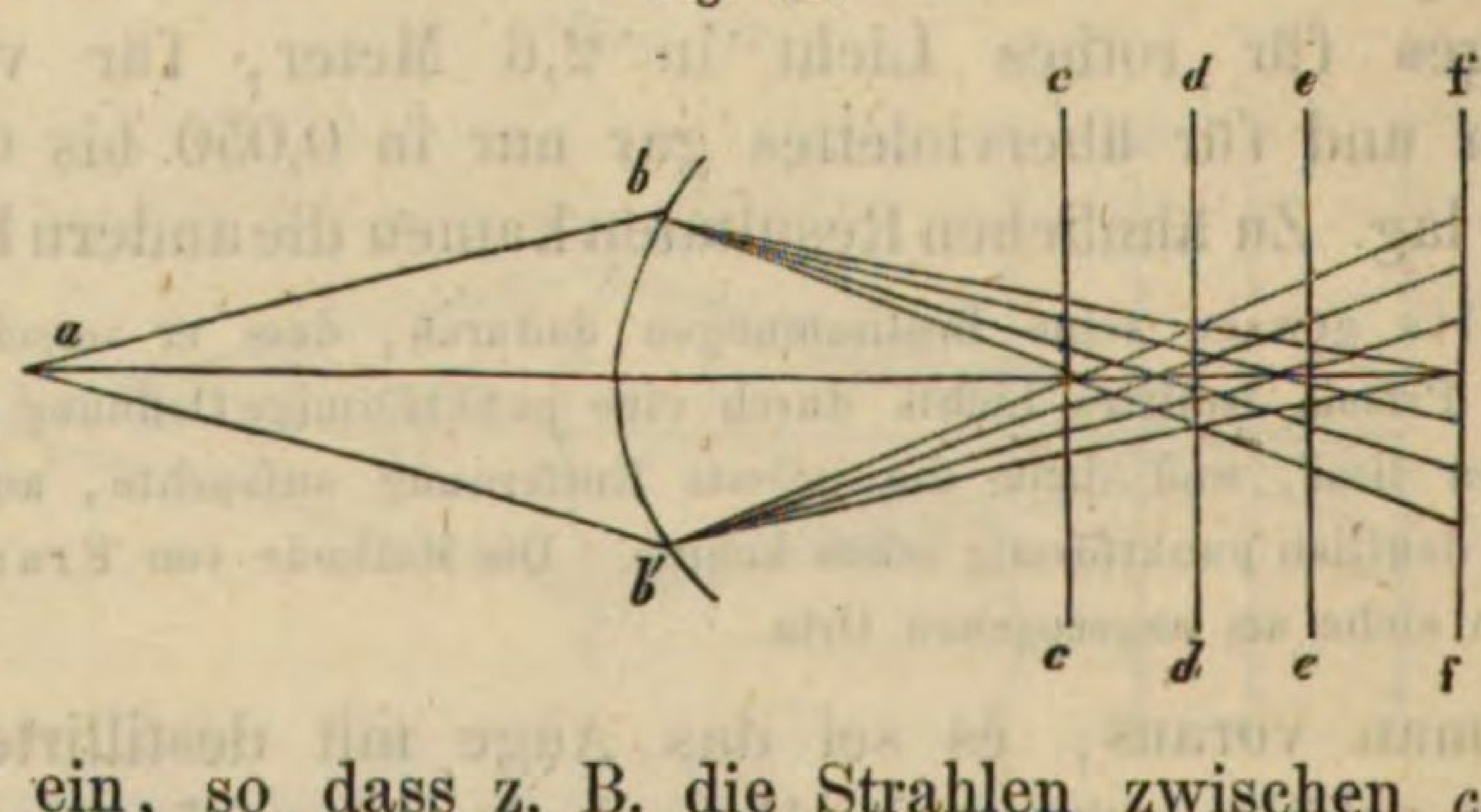
Helmholtz gewann seine Bestimmungen dadurch, dass er verschiedenfarbiges, mittelst eines Prisma isolirtes Lichts durch eine punktförmige Oeffnung eines dunklen Schirmes fallen liess, und dann die grösste Entfernung aufsuchte, aus der er die Oeffnung noch deutlich punktförmig sehen konnte. Die Methode von Fraunhofer und Matthiesson siehe am angezogenen Orte.

Setzt man voraus, es sei das Auge mit destillirtem Wasser gefüllt, so erhält man, wie Helmholtz berechnet, sehr ähnliche Werthe, so dass die Dispersion (die ungleiche Brechung verschiedener Strahlen) in den Augenflüssigkeiten nur um ein Geringes grösser ist, als im Wasser.

Es bleibt uns nun noch übrig, auch die zweite Folgerung, die

Anwesenheit der Farbensäume um die Bilder weiss leuchtender Objekte festzustellen. Wendet man sich zu diesem Behuf an die Thatsachen der alltäglichen Erfahrung, so wird man zur Antwort erhalten, dass das Auge namentlich bei genauer Einstellung scheinbar achromatisch sei, denn für gewöhnlich werden alle farbigen Umsäumungen weisser Gegenstände vermisst. Um diese Erscheinung zu erklären, müssen wir unterstellen, dass das Auge beim scharfen Sehen sich einstelle ungefähr für den Brennpunkt des grünen Lichtes. Geschieht dieses, so werden in der That die Farbensäume kaum merklich werden, weil 1. die complementärgefärbten Lichter der beiden entgegengesetzten Randstrahlen auf einen Punkt einschneiden und somit die Empfindung des Weissen erzeugen; dieses wird 2. im Auge sehr vollkommen geschehen, weil die Dispersion der Augenmedien keine sehr bedeutende ist. Die geringe Menge gefärbten Lichtes, welche dennoch am Rande übrig bleibt, wird 3. in der Empfindung unterdrückt durch die viel lebhaftere Erregung, welche vom mittleren Theil des Lichtkreises ausgeht, da nach einer Berechnung von Helmholtz die Lichtstärke am Rande des Kreises ungemein rasch abfällt. — Unsere schon sehr wahrscheinlich gewordene Unterstellung lässt sich aber noch durch andere Folgerungen beweisen; unter diesen heben wir hervor: dass die Farbenringe sogleich, wenn auch schwach erscheinen, sowie man auf den Gegenstand, der gemischtes Licht aussendet, nicht mehr scharf accommodirt; stellt man nämlich das Auge, während man den Gegenstand *a* (Fig. 64) im Gesichtsfeld behält, für eine geringere

Fig. 64.



Entfernung ein, so dass z. B. die Strahlen zwischen *cc* und *dd*, statt der zwischen *dd* und *ee*, auf die Retina fallen, so muss der Theorie gemäss der Farbensaum roth werden, und richtet man sich für grössere Entfernungen ein, so dass z. B. die Strahlenanordnung bei *ff* auf die Sehhaut trifft, so muss der Gegenstand violett um-

säumt sein. In der That geschieht es so. Statt dieses, etwas schwierig auszuführenden Versuchs soll man nach Tourtual mit halb oder etwas mehr als halbverdeckter Pupille einen hellen Gegenstand ansehen. Ad. Fick wählt einen hellen Streif (einen feinen Schlitz in Kartenpapier) und sieht gegen ihn durch ein feines Loch, steht das letztere in der Mitte der Pupille, so ist der Schlitz farblos, nähert sich die Oeffnung dem obern oder untern Rand der Pupille, so wird die Lichtlinie fast durchweg gefärbt. Bei einer solchen Anordnung müssen aber die Farbensäume stärker hervortreten, weil ihre aus den entgegengesetzten Randstrahlen hervorgehende Complemente wegfallen.

Veränderungen desselben Verfahrens geben A. Fick und Czermak. Der erstere betrachtet einen schmalen leuchtenden Spalt durch zwei Oeffnungen; jenseits des Fernepunktes wird die Linie, welche den doppelgesehenen hellen Spalt trennt, roth, und diesseits des Nähepunkts violett; Czermak stösst in ein Kartenblatt, auf einem Kreis von 2 bis 5 M.M. Durchmesser, 10 bis 20 feine Oeffnungen und hält das Blatt gegen einen hellen Hintergrund. Die von den Löchern umgebene Scheibe färbt sich vor dem Nahepunkt gelblichroth und jenseits des Fernpunkts violett.

Mit dem Nachweis, die Chromasie des Auges ist auch ausgesprochen, dass wir im gemischten Licht niemals anders, als mit Zerstreuungskreisen sehen, und dass uns derselbe Gegenstand, je nachdem er im einfachen oder gemischten Licht erscheint, grösser oder kleiner vorkommen müsse. A. Fick hat auch diese Folgerung bewiesen.

Monochromatische Abweichung *). Im Beginn der dioptrischen Betrachtungen des Auges wurde unterstellt, dass die Strahlen eines leuchtenden Punktes nach der Brechung zu einem Bildpunkt vereinigt würden, oder dass ein von einem Centrum ausgehendes Lichtbüschel nach der Brechung auch homozentrisch bleibe. Dass diese Annahme für gemischtes Licht nicht zutreffe, ist so eben dargethan, sie ist aber auch nicht für einfaches Licht giltig, und zwar aus verschiedenen Gründen nicht; einmal nämlich, weil gegen die Voraussetzung der aufgestellten dioptrischen Gleichungen nicht bloss Strahlen, die mit der optischen Achse einen verschwindend kleinen Winkel bilden, zur Entwerfung der Bilder benutzt werden, und dann nicht, weil die brechenden Flächen keinem Rotationskörper angehören, und endlich weil die optischen Mittel nicht vollkommen durchsichtig sind.

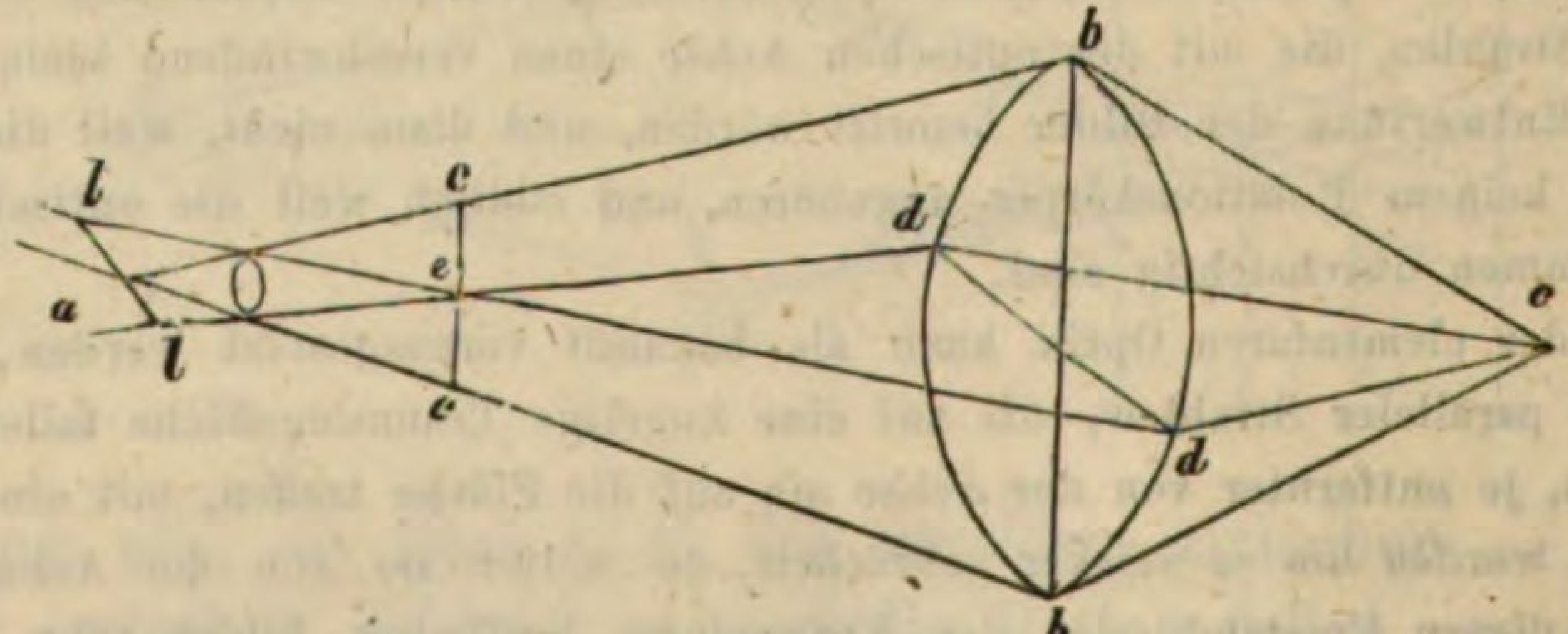
a) Aus der elementaren Optik kann als bekannt vorausgesetzt werden, dass die Brennpunkte paralleler Strahlen, die auf eine kugelige Trennungsfläche fallen, um so näher rücken, je entfernter von der Achse sie auf die Fläche treffen, mit einem Worte, die Strahlen werden um so stärker gebrochen, je weiter sie von der Achse entfernt liegen. Um diesen Umstand, der der Entwerfung deutlicher Bilder sehr hinderlich ist, zu meiden, können verschiedene Verfahrungsarten eingeschlagen werden. Einmal können durch angebrachte Blendungen die Randstrahlen abgefangen werden. Diese

*) Helmholtz, physiolog. Optik. p. 137. A. Fick, physiolog. Physik. 310 u. 325.

Einrichtung ist am Auge durch die Iris gegeben, welche zwischen Linse und Hornhaut eingeschoben, wegen ihrer, namentlich bei scharfer Beleuchtung, sehr engen Oeffnung nur den Flächenstücke erlaubt, sich an der Entwerfung von Bildern betheiligen, welche um wenige Bogengrade von der Achse entfernt liegen; — diese können aber ohne Schaden selbst an Kugellinsen zu dem beabsichtigten Zweck benutzt werden. — Um die Homozentrizität aufrecht zu erhalten, auch wenn man grössere Abschnitte der Linsen (zur Erzielung bedeutender Lichtstärken) für die Entwerfung der Bilder benutzen will, bedient man sich ferner aplanatischer Flächen; das Prinzip, nach dem dieselben gebaut sind, muss die Bedingung einschliessen, dass die brechenden Kräfte der Linsen nach ihren Rändern hin nicht in dem Maasse, wie in kugeligen Flächen, zunehmen. Dieses würde z. B. geschehen, wenn die Strahlen, welche ein complizirtes optisches System durchwandern, an den der Achse näher gelegenen Orten eine grössere Zahl brechender Flächen zu durchsetzen hätten, als an den von ihr entfernter gelegenen; oder wenn die Seitentheile der Linsen nach einem grösseren Halbmesser gekrümmt wären, als die centralen. Auch diese Bedingungen sind am Auge erfüllt, indem nicht allein Trennungsflächen Rotationsellipsoiden angehören, sondern auch in der geschichteten Linse die seitlichen Strahlen durch weniger Schichten wandern, als die mittlern. Durch diese Mittel ist am Auge, wenn es auch mit weiter Pupillenöffnung sieht, die sog. sphärische Abweichung nicht allein corrigirt, sondern sogar häufig übercorrigirt, sodass die Randstrahlen weniger gebrochen werden, als die unmittelbar um die Achse eingehenden (Volkmann*)). In den meisten Fällen sind also am Auge die Effekte der sphärischen Abweichung von keiner praktischen Bedeutung, oder es verschwinden die aus ihr hervorgehenden Unregelmässigkeiten der Bilder gegen die choromatische und aus andern Bedingungen herrührende.

b) Bei der Entwerfung eines schematischen Auges wurde nämlich von der Voraussetzung ausgegangen, dass die brechenden Flächen Rotationskörpern angehören sollten. Die Messung für die Hornhaut zeigt aber schon, dass dieses nicht streng richtig sei, indem die Krümmungshalbmesser eines senkrecht durch diese Haut geführten Schnittes nicht immer übereinstimmten mit denen eines horizontalen. Die Folgen dieses Umstandes müssen sich geltend machen ebensowohl bei genauer, als bei ungenauer Accommodation. Machen wir z. B. entsprechend der von Senff gemessenen Hornhaut die Annahme, dass der horizontale Krümmungshalbmesser grösser, als der vertikale sei, so wird Fig. 65 das Bild *a* der vom Punkt *o* ausgehenden horizontalen Strahlen *o b b* weiter nach hinten fallen, als

Fig. 65.



das Bild *e* der vertikalen *o d d*, so dass, wenn die letzten schon einen Bildpunkt entworfen haben, die ersten noch in einer Linie *c c* ausgebreitet sind, während, wenn die horizon-

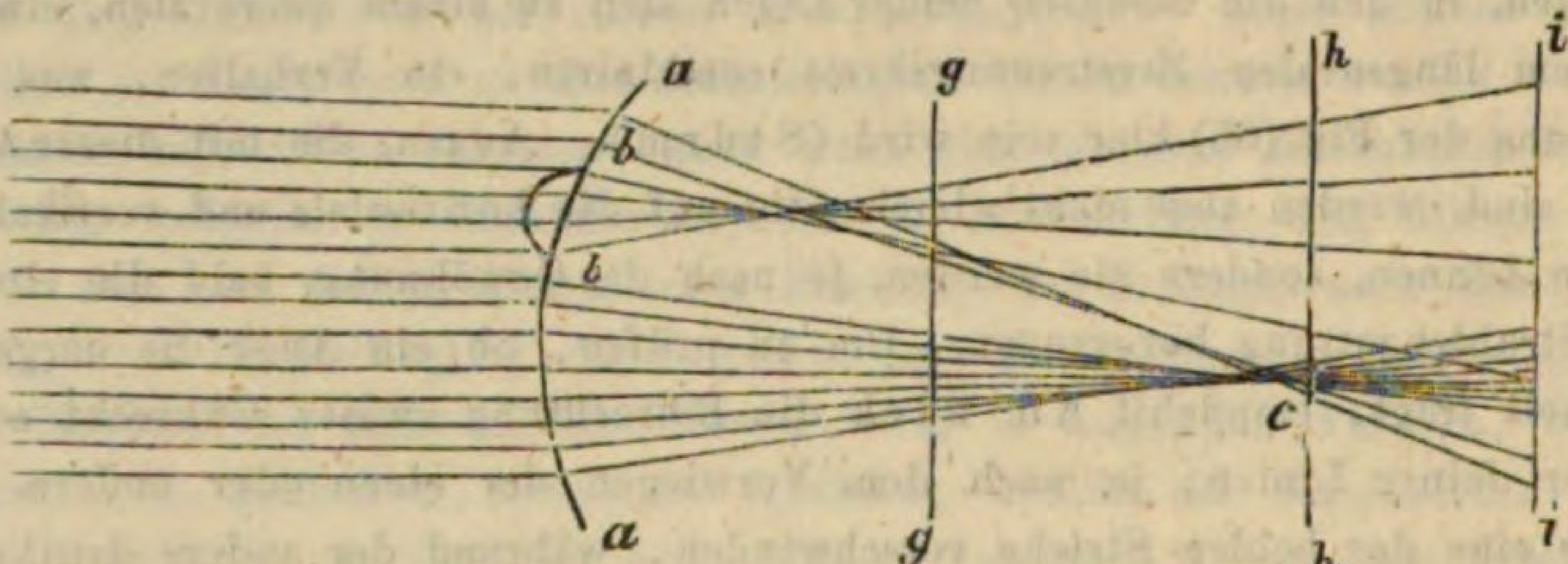
*) Handwörterbuch der Physiologie. Art. Sehen.

talen Strahlen zu einem Punkt vereinigt sind, die vertikalen hinter ihrem Bildpunkt wieder in einer Linie *ll* auseinander weichen. In dem Raume, der zwischen der horizontalen und vertikalen Linie eingeschlossen ist (Brennraum), werden sich successive Orte finden, in den die Strahlen beider Lagen sich zu einem querovalen, einem runden und einem längsovalen Zerstreuungskreis combiniren, ein Verhalten, was durch die Betrachtung der Fig. (65) klar sein wird (Sturm). Augen, die mit dieser Abweichung behaftet sind, werden also nicht gleichzeitig auf die horizontale und vertikale Richtung einstellen können, sondern sie werden, je nach der Gewöhnung, bald die eine oder die andere Strahlengattung bevorzugen. Um zu prüfen, ob ein Auge die dargestellte Beschaffenheit trägt, empfiehlt Ad. Fick die Betrachtung zweier senkrecht auf einander gezogener feiner Linien; je nach dem Vorwiegen der einen oder andern Krümmung wird der eine der beiden Striche verschwinden, während der andere deutlich sichtbar bleibt, wenn das weisse Blatt, welches die Linien trägt, dem Auge bis zur Accommodationsgrenze genähert wird. Diese Abweichung kann begreiflich ebensowohl in der Hornhaut, als in der Linse ihren Sitz haben. So hat z. B. Young an seinen eignen Augen ermittelt, dass sie nicht in der Hornhaut gelegen war, da ihre Folgen auch noch dann bestanden, wenn er seine Augen unter Wasser gesetzt hatte.

c) Im Gegensatz zum schematischen kommt den brechenden Flächen des natürlichen Auges keine vollkommene Glätte und Homogenität zu. So ist namentlich die Hornhaut mit kleinen Thränentröpfchen und Schleimstreifen u. s. w. bedeckt, in ihrer Substanz sind Fasern und Körperchen eingelagert, die Linse ist aus mehreren Segmenten zusammengesetzt u. s. w. Die Anwesenheit dieser Gebilde schadet, wenn sie nicht massenweise vorhanden sind, der Reinheit eines Bildes nicht, welches scharf auf der Retina entworfen wird, sie verringert höchstens die Lichtstärke; sie macht sich aber sehr wesentlich geltend, wenn ein Objektpunkt als Zerstreuungskreis auf der Retina dargestellt wird, indem ein solcher, der von Linsensystemen entworfen wird, die mit den bezeichneten Fehler behaftet sind, weder vollkommen rund noch von gleichmässiger Lichtstärke ist. Die daraus entstehenden Zerstreuungskreise hat man je nach ihrer Form als Mehrfachsehen mit einem Auge, als Haarstrahlenkranz, als Lichtflimmern u. s. w. bezeichnet. Da eine allgemeine Theorie dieser Störungen nicht möglich und die individuellen Erscheinungsarten der Zerstreuungskreise unzählige sind, so begnügen wir uns mit der Betrachtung eines wohl in keinem Auge fehlenden Falles, des sog. Mehrfachsehens mit einem Auge. Die Erscheinung besteht einfach darin, dass ein Objekt, das sich vor einem Auge diesseits oder jenseits der deutlichen Sehweite bewegt, nicht mehr einfach, sondern zwei- und mehrfach gesehen wird, und zwar meist so, dass die Lichtstärke des einen der Bilder, die des oder der andern beträchtlich überwiegt. Diese Erscheinung, die man lange Zeit für eine pathologische hielt, hat H. Meyer zuerst als eine physiologische hingestellt, indem er zeigte, dass sie nur bei unvollkommener Accommodation stattfindet. Ad. Fick erklärt sie folgendermaassen; in Fig. 66 sei *aa* die Hornhaut, *bb* eine aufsitzende Unregelmässigkeit, es sollen ferner die auf die glatte Hornhautfläche fallenden Strahlen ihre Vereinigung bei *c*, die auf die Unregelmässigkeit eintreffenden bei *d* finden Würde nun das Auge dermaassen eingerichtet sein, dass die Strahlen des glatten Hornhautabschnittes ihre Vereinigung auf der Retina fänden, so würden sie sämmtlich in einem Punkte einschneiden, gleichsam als wäre die Unebenheit nicht vorhanden. Träfen sie dagegen in dem Zustande, der z. B. bei *gg* oder *cc* dargestellt ist, auf die Retina, so würden sie in zwei Büschel zerschnitten erscheinen, und es würden statt eines zwei unregelmässige Zerstreuungskreise zum Vorschein kommen, da in Folge der Anwesenheit von *bq* die dorthin

fallenden Strahlen, statt den andern entsprechend zu gehen, weithin zerstreut sind. Ad. Fick schlägt darum statt der unpassenden Bezeichnung „Mehrfachsehen", die

Fig. 66.



andere „ungleiche Lichtvertheilung im Zerstreuungskreise" vor. — Da nun bei einigen Augen die Erscheinungsform des Zerstreuungskreises constant bleibt, bei andern aber mit dem Lidschlag, (d. h. mit der veränderten Anordnung der Thränen auf der Hornhautoberfläche) sich umgestaltet, so muss man schliessen, dass sie das einemal von den Thränen, das anderemal von eingewachsenen Missstaltungen abhängt.

Aehnliche interessante Erscheinungen siehe bei Helmholtz.

d) Nach Beer üben auch einen Einfluss auf die unregelmässige Gestaltung der Bilder Beugungen des Lichts an den Falten und Einschnitten des Linsenrandes: möglicherweise könnte auch die Pupille so eng werden, dass aus ihr, abgesehen von den Unebenheiten der Ränder, Diffraktionsphänomene zu Stande kämen. Wir verweisen hierüber auf die Darstellungen von Helmholtz.

Einrichtungen zur Spiegelung der Lichtstrahlen im Auge.

An der Grenze zweier Mittel, die ein Lichtstrahl überschreitet, wird immer Licht zurückgeworfen; demnach muss auch das Auge auf innern und äusseren Flächen Spiegelungen zeigen. Diese Spiegelungen würden noch sehr viel beträchtlicher sein, wenn nicht ein grosser Theil der Augenflächen mit einem lichteinsaugenden Stoffe, dem schwarzen Pigment, ausgekleidet wäre.

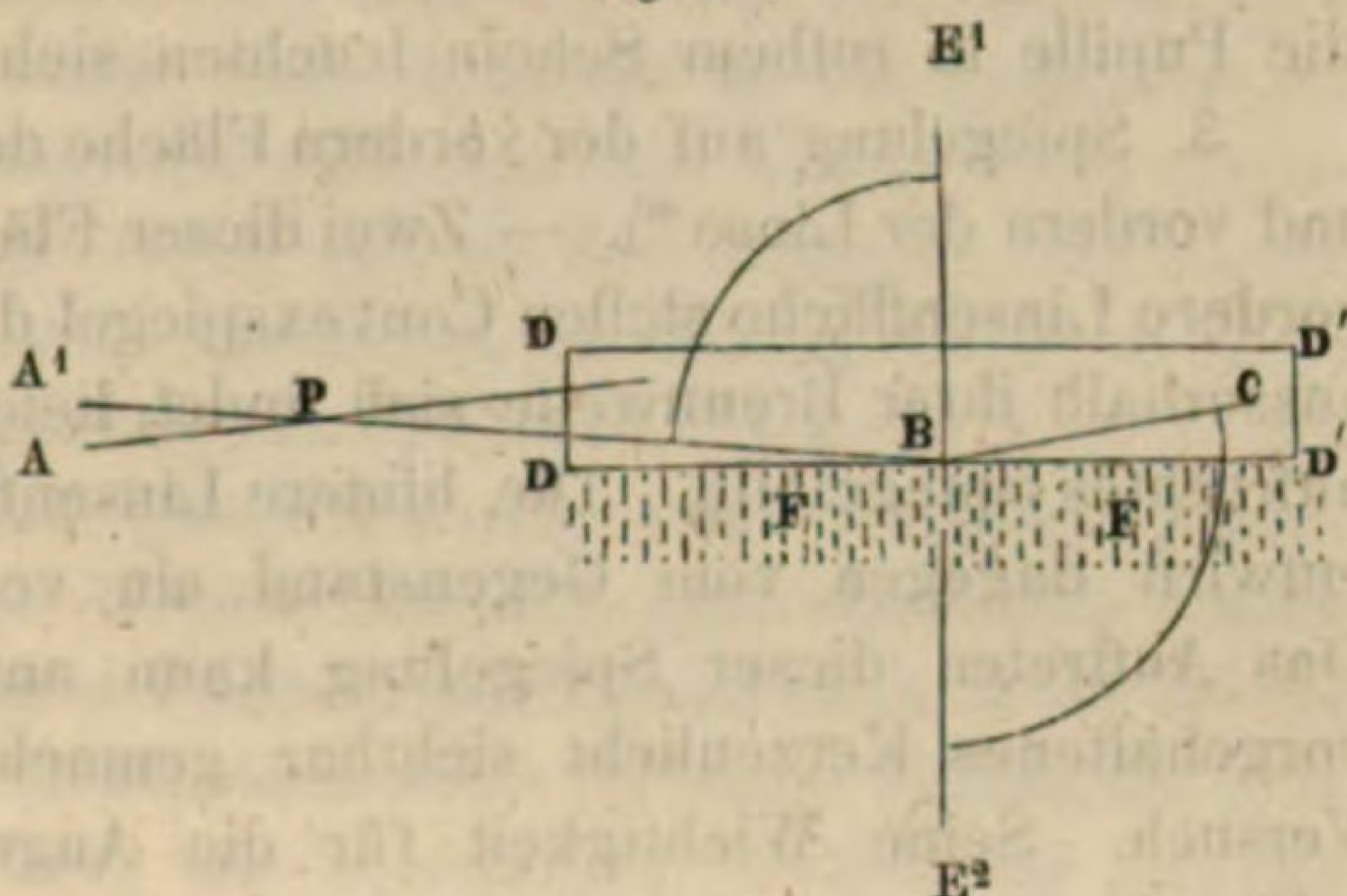
1. Spiegelung des Lichtes, welches auf der Retina zu einem Brennpunkt vereinigt war*). Bei der grossen Durchsichtigkeit der Retina dringen die in ihnen zu einem Punkte vereinigten Strahlen durch ihre vorderen Theile hindurch und gelangen zunächst auf die sogenannte Stäbchenschicht. Da diese nichts Anders darstellt als eine Reihe sehr kleiner Prismen, welche aufrecht gegen die Retina gestellt sind und da sie aus einem stark brechenden Stoffe bestehen, der in einen weniger stark brechenden eingebettet ist, so müssen, wie Brücke darthat, die unter den erwähnten Bedingungen in sie eingetretenen Strahlen eine totale Reflexion erleiden, so

*) Brücke, über die physiologische Bedeutung der stabförmigen Körper und der Zwillingszapfen in den Augen. Müller's Archiv 1844.

dass das in einen Stab eingedrungene Licht wieder auf demselben Wege aus ihm tritt, auf welchem es in ihn gelangte.

Der Beweis für die Richtigkeit der Annahme von Brücke ergibt sich aus Fig. 67. In ihr bedeuten A^1 A zwei Strahlen, welche in P nahe vor dem Prisma DD sich kreuzen; FF ist das Mittel von geringer Brechkraft, welches das Prisma begrenzt. Der grössern Einfachheit wegen werden wir in dieser Figur den Gang nur eines von beiden Strahlen betrachten. Dringt nach der Kreuzung der Strahl A^1 in das Prisma, so wird er auf der Fläche DD^1 einen Einfallswinkel $A^1 B E^1$ bilden, welcher sich einem rechten sehr annähert; beim Uebertritt in das neue schwächer brechende Mittel F wird der Brechungswinkel grösser, als der Einfallswinkel werden müssen. Geschieht diese Vergrösserung um ein Merkliches, so dass der Brechungswinkel einen rechten übersteigt und etwa den Werth CBE^2 erreicht, so wird er gar nicht in das zweite Mittel eintreten, mit andern Worten, er wird von seinen Flächen zurückgeworfen werden. Diese Betrachtung gilt in noch erhöhtem Grade, wenn der Bildpunkt der Strahlen in den Binnenraum des Stäbchens fällt, wie dieses beim scharfen Sehen sehr wahrscheinlich ist.

Fig. 67.



Diese Einrichtung zur Regelung der Spiegelung hinter der empfindenden Fläche ist eine nothwendige Ergänzung zu der vorsorglichen Anordnung der brechenden Flächen; indem nur durch die Gemeinschaft beider die Aufgabe, eine genau beschränkte Lichtwirkung zu erzeugen, lösbar war. — Denn in der That würden die ordnungslos hinter der Retina gespiegelten Strahlen die empfindlichen Theile an andern Orten rückwärts durchdrungen haben als die, in welche sie vorwärts eingingen; damit wäre aber wieder dieselbe empfindende Stelle von verschiedenen Lichtern getroffen worden, die sich gegenseitig gestört haben würden.

2. Spiegelung des zerstreut in die Augen eintretenden Lichtes von der Retina*). Neben dem Licht, welches durch die Linsensysteme gebrochen seinen Brennpunkt auf der Retina findet, dringt noch Licht in das Auge, welches aus andern Entfernungen, als denjenigen kommt, für welche dasselbe accommodirt ist, und anderes, welches durch die nicht vollkommen undurchsichtige Sclerotica

*) E. Brücke, über die leuchtenden Augen der Wirbelthiere. Müller's Archiv. 1845. — Derselbe, über Leuchten der menschlichen Augen ibid. 1847. — Helmholtz, der Augenspiegel. p. 9.

dringt u. s. w. — Da diese Strahlen weder in der bestimmten Beziehung zu den Stäbchen noch zu dem Linsensysteme stehen, wie die vorhin erwähnten, so werden sie auch unregelmässig gespiegelt aus dem Auge austreten; in der That geschieht dieses, so dass man unter günstigen Bedingungen, welche Brücke zuerst ermittelte, die Pupille in rothem Schein leuchten sieht.

3. Spiegelung auf der vordern Fläche der Cornea und der hintern und vordern der Linse*). — Zwei dieser Flächen, die Cornea- und die vordere Linsenfläche stellen Convexspiegel dar; jeder Gegenstand der ausserhalb ihrer Brennweite sich findet, liefert somit ein verkleinertes aufrechtes Spiegelbild. Die hintere Linsenfläche, als Concavspiegel, entwirft dagegen vom Gegenstand ein verkehrtes Spiegelbild. — Das Auftreten dieser Spiegelung kann an jedem Auge durch ein vorgehaltenes Kerzenlicht sichtbar gemacht werden. Purkinje's Versuch. Seine Wichtigkeit für die Augenmessung wurde schon erläutert.

Polarisirende Wirkungen der brechenden Mittel **).

Die durchsichtigen Augenmittel und namentlich Cornea und Linse sind so vielfach geschichtet, dass sie einem Plattensatz spiegelnder Fläche zu vergleichen sind. Mit diesem theilen sie die Aehnlichkeit, dass sie das Licht wie ein solcher polarisiren. Erlach.

Diese nachweislich polarisirende Eigenschaft der todten Linse (und der Cornea?) soll sich im Leben nach Haidinger auch dadurch ausdrücken, dass von der Polarisationsebene eines passend vor das Auge gehaltenen Nichols farbige Büschel ausstrahlen.

Empfindende Werkzeuge des Auges. Retina, Sehnerv.

1. Anatomische Einleitung. Die Retina ***) besteht, von der choroidea zur Glashaut gezählt, 1. aus den glashellen cylindrischen Stäbchen oder den stellvertretenden flaschenförmigen Zapfen (Hannover, Bidder), welche, eingebettet in eine gleichartige durchsichtige Masse, mit der eine ihrer Basen (bei den Zapfen ist es die des Flaschenhalses) nach aussen und mit der andern nach innen sehen; auf dieser letztern ruhen, 2. die äussern Körner (Pacini); ihrer Form und Verbindung nach zu unterscheiden in Zapfen- und Stäbchenkörner. Die ersten sind birnförmige Zellen, deren breiter Theil auf dem

*) Purkinje, commentatio de examine physiologico organi visus. Vratislav. 1823. — H. Meyer, über den Sanson'schen Versuch. Henle und Pfeufer Zeitschrift V. Bd.

**) K. v. Erlach, Mikroskopische Beobachtungen über organische Elementartheile u. s. w. Müller's Archiv 1847. — du Bois-Reymond, Fortschritte der Physik III. Bd. 138. — Haidinger, Poggendorf's Annalen 53., 55. und 58. Bd. u. Fortschritte der Physik II. Bd. 183, III. Bd. 149—155. — A. Fick, Physiologische Physik. 349.

***) H. Müller. Anatomische physiologische Untersuchungen über die Retina. Leipzig 1856. — Vintschgau. Wiener Sitzungsberichte XI. 943. — Henle, dessen Zeitschrift. N. F. II. Bd. 304. — Beymann ibidem. V. Bd. 245.

Flaschenboden des Zapfens aufsitzt, das zugespitzte aber geht in einen feinen Faden aus; je einem Zapfen entspricht auch nur ein Korn. — Die Stäbchenkörner sind runde kleine Zellen, eine Seite steht mit den Stäben in Verbindung, und zwar entweder indem Korn und Stab ohne Zwischenstück verwachsen sind, oder der Stab hat sich erst zum Faden verdünnt, und ist darauf in das Korn übergegangen; es scheint die Zahl der Stäbchen und Körner nicht gleich gross zu sein, an einigen Orten hat es das Ansehen, als ob ein Stäbchenfaden mehrere Körner durchsetzt, an andern, als ob mehrere Faden in eine Zelle mündeten (H. Müller). Auf sie folgt 3. die körnerlose Zwischenschicht (Bowmann), eine formlose Masse, durch welche die aus den äussern Körnern hervortretenden Faden hinziehen (H. Müller). Diese Faden treten darauf ein 4. in die innern Körner, in kleine mit mehrfachen Ausläufern versehene Zellen, die peripherischen Fussläufer stehen, wie bemerkt, in Verbindung mit den Stäbchen- und Zapfenfaden, die central gerichteten aber erreichen zum Theil als steife Fasern die membrana limitans (H. Müller), während andre, und dieses ist der allgemeine Fall, sich einpflanzen in die Fortsätze der Ganglienschicht (Vintschgau), nachdem sie erst 5. die Granularschicht durchwandert haben, ein Gemisch aus körnigem Staub und ungeformter Sulze. Die 6. Lage ist aus vielstrahligen Ganglienzellen gebildet (Pacini, Brücke, Bowmann), welche stellenweise nach der Dicke der Retina bis zu acht an der Zahl aufeinander liegen; ihre Aeste gehen beim Menschen einerseits über in Ausläufer uer innern Körner und andererseits in die Nervenröhren des Opticus (Corti); beim Elephanten vereinigen sich auch die Strahlen benachbarter Körper zu Netzen. 7. Die Ganglienkörper sind bedeckt von den Nervenröhren und diese endlich 8. von der membrana limitans, einer durchsichtigen Haut, an deren äussern Fläche die früher erwähnten Müller'schen Fasern haften. Eine

Fig. 68.



Vergleichung der Figur (68) mit der Beschreibung wird den verwickelten Bau dem Gedächtniss wieder auffrischen.

Der fovea centralis, dem gelben Flecke, der Eintrittsstelle der Sehnerven kommen im Gegensatz zu andern Abtheilungen, insbesondere zu den Nachbarstellen der ora serrata, noch mancherlei Eigenthümlichkeiten zu. In der fovea und der macula stehen nur Zapfen aber keine Stäbchen (Henle), in der nächsten Umgrenzung der macula wird je ein Zapfen nur von einer Reihe, weiter gegen die ora aber von mehreren Reihen von Stäbchen umgeben. Die letztern nehmen auch an Länge vom Centrum der Retina gegen ihren Umfang ab. In der fovea fehlen auch die Nervenröhren und die Ganglienkörper entweder ganz oder sind sparsamer vorhanden, sodass die Zapfenfasern, welche die granulose Schicht durchsetzen, keinen radialen, sondern einen schrägen Verlauf nehmen müssen, um zu den Ganglienstrahlen zu gelangen, (H. Müller, Bergmann). Im gelben Fleck, besonders in dem Theile, welcher die fovea umgibt, sind keine Verbindungsfasern zwischen der Grenzhaut und den innern Körnern sichtbar. Nervenröhren fehlen am mittleren Theile desselben ganz, während sie gegen seinen Umfang wohl vorkommen, aber nicht mehr zu einer gleichmässigen Schicht ausgebreitet sind (Bowmann). H. Müller gibt an, dass um die fovea in einer Ausbreitung von 0,60 M.M. nach der Quer- und 0,36 M.M. nach der Längenachse, das von den Nervenfasern bedingte streifige Ansehen gänzlich fehlt. Für diese Stelle und den gelben Fleck überhaupt sind jedoch sehr zahlreiche Nervenfäden vorhanden, welche vom Sehnerveneintritt bogenförmig zu seinem Umfang gehen; Müller schätzt die gegen ihn andringenden Nervenröhren auf ein Viertheil sämmtlicher Optikusfasern. Dicht gehäuft liegen dagegen auf dem gelben Fleck die mit langen Fortsätzen begabten Ganglienkörper auf ihm (Bowmann), sie sind so zahlreich vorhanden, dass der Annahme nichts entgegensteht, es möchte für je ein Zapfen auch ein Ganglienkörper vorhanden sein (H. Müller). Ferner sind die Fasern in den beiden körnerfreien Schichten deutlicher, die innere Körnerschicht ist mächtiger, die äussere dünner, indem den hier anwesenden Zapfen nur je eine Zelle zu entsprechen scheint. Gegen die ora dagegen sind die Ganglienzellen wenig häufig, nur in einer einzigen dazu nicht einmal vollständigen Lage vorhanden; ebenso nehmen die Nervenfasern und die innern Körner an Zahl ab, während die der Stäbchen unverändert bleibt, somit sind hier sicher nicht mehr so viel Ganglienkörper und Fasern, als Stäbchen vorhanden, es müssen also mehrere der letzteren in nur eine der ersteren einmünden (H. Müller). An der Eintrittsstelle der Sehnerven fehlen

fehlen endlich mit Ausnahme der Nervenröhren alle übrigen Retinalformen.

Von den Blutgefässen der Retina ist zu bemerken, dass das Blut der centralis retinae niemals tiefer, als bis zur innern Körnerschicht dringt, sodass namentlich die Stäbchen ganz frei von ihnen bleiben (Arnold), ferner, dass der gelbe Feck von grössern Aestchen ganz, und ein kleiner Theil desselben auch von Capillaren frei bleibt. Unter diesen Umständen scheint es gerechtfertigt, die Choriocapillarnetze auf die Stäbchen zu beziehen, um so mehr, als sie an der ora serrata gänzlich aufhören, während ihre Maschen am Centraltheil der Retina sehr dicht sind.

2. Lichtempfindung. Erregungsmittel derselben. Den erregten Zustand der Retina empfinden wir als weisses oder gefärbtes Licht; der physiologische Ruhezustand derselben erweckt uns dagegen die Vorstellung der Dunkelheit. Die empfindungserregenden Zustände der Retina werden ausgelöst unter dem Einfluss der Aetherschwingungen, mechanischer Eindrücke und electrischer Ströme.

Da die Wellen des Aethers vorzugsweise die Retina erregen, und da zudem nur die durch sie erregten Empfindungen als ein Element in den zusammengesetzten Akt des Sehens eingehen, so hat man dieselben geradezu Licht und Farben genannt. Die Ueberlegung, dass auch mechanische und elektrische Einwirkungen auf das Auge die Empfindung des Lichtes erzeugen, gibt uns das Recht jenen populären Ausdruck für physiologisch fehlerhaft zu erklären, und die Behauptung festzuhalten, dass Licht und Farbe nichts anderes seien, als Erregungszustände der Retina und des Sehnerven.

A) Aetherschwingungen *). Die Berührungen des bewegten Lichtäthers mit den lichtempfindenden Flächen sind von den verschiedentlichen Folgen begleitet.

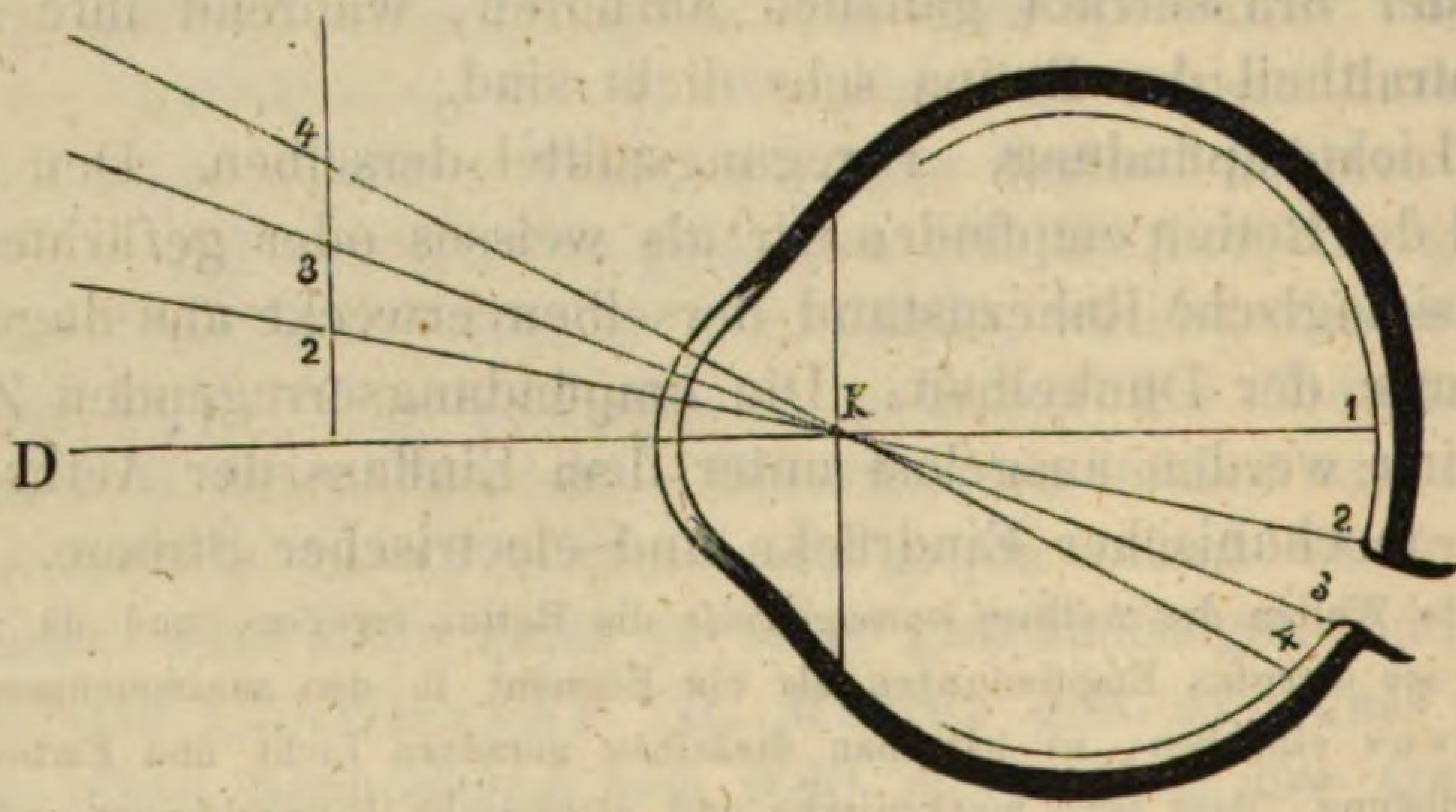
a) Die lichtempfindenden Flächen sind nicht überall durch die Schwingungen des Aethers in Erregung zu versetzen; nach genauen Beobachtungen von Helmholtz empfindet man nur die Aetherstrahlen als Licht, welche den Sehnerv auf seiner Ausbreitung in der Retina treffen, nicht aber diejenigen, welche auf seinem Stamm und namentlich auf dessen Eintrittsstelle in die Retina dringen.

Wenn man mittelst des Augenspiegels die Retina an den Orten erleuchtet, an welchen der Sehnerv in dieselbe eindringt, so erkennt man in der Substanz des Stammes

*) Helmholtz, der Augenspiegel p. 39. — Derselbe, über die Theorie der zusammengesetzten Farben. Müller's Archiv 1852. — Derselbe, Poggend. Annalen. 94. Bd. 1. — Fechner, über subjektive Nach- und Nebenbilder. Poggend. Annalen 50. Bd. ibid. 44. Bd. — E. Brücke, Untersuchungen über subjektive Farben. Wien 1851 und Poggend. Annalen. 84. Bd. 418. — Seebeck, Poggend. Annalen. 42. Bd. — Dove, über den Einfluss der Helligkeit etc. Poggend. Annal. LXXXV. Bd. — Helmholtz, über Hrn. D. Brewsters neue Analyse des Sonnenlichts. Poggend. Annalen LXXXVI. Bd. — Ad. Fick, physiolog. Physik p. 350. — Grailich, Wiener akad. Berichte XIII. Bd. 201. — E. H. Weber, Leipziger Berichte 1852. p. 149.

bis in eine gewisse Tiefe den Verlauf der art. central. retinae, mit andern Worten der Sehnerv wird vollkommen durchleuchtet. Erzeugte nun die Wirkung des Lichtäthers an dieser Stelle des Sehnervenverlaufs eine Lichtempfindung, so müsste offenbar jetzt das ganze Auge mit Licht erfüllt scheinen, da ja alle Röhren des Opticus getroffen wurden; hiervon tritt nun aber gerade das Gegentheil ein, indem das auf den besprochenen Ort geworfene Bildchen dem beleuchteten Auge als ein engbegrenztes und viel lichtschwächeres erscheint, als wenn es auf andere Stellen fällt. — Diese Beobachtungen von Helmholtz erheben es zur Gewissheit, dass der schon längst bekannte blinde Fleck von Mariotte nichts Anderes sei, als die Eintrittsstelle des Sehnerven. Ist nun in der That am Auge Fig. 69, dessen Knotenpunkte bei *K* liegen, die Eintritts-

Fig. 69.



stelle des Sehnerven für Aetherwellen unempfindlich, so müssen die Gegenstände, welche innerhalb der Grenzen $2\,2^{1}$ und $3\,3^{1}$ ihre Richtungsstrahlen in das Auge senden, gar nicht gesehen werden. Dieses trifft nun auch zu. — Um diesen blinden Ort an der eignen Retina zu finden, zeichne man sich mehrere je 2—3 Centimeter von einander abstehende in einer geraden Linie liegende Punkte 1. 2. 3. 4. und führe einen derselben 1 gerade vor das Auge in die Verlängerung der Sehachse 1 1, während man das andere Auge geschlossen hält. Richtet man nun, während man die Augenstellung fixirt erhält, seine Aufmerksamkeit auf die nach der äussern Seite vor das Auge gelegenen Punkte, so wird man gewahren, dass die zwischen 2 und 3 befindlichen aus dem Gesichtsfeld ausfallen, während die nach innen und aussen von diesen gelegenen 1 und 4 sichtbar bleiben. Eine weitere Betrachtung unserer Figur zeigt, dass mit der wachsenden Entfernung des Punktes 1 auf der Sehachse *KD* vom Knotenpunkte *K* auch der Abstand der Punkte 3, 2 von 4 zunehmen muss, wenn sie verschwinden sollen. Daraus folgt die Regel, dass wenn man sich mehrere Punkte in einer bestimmten Entfernung von einander auf ein Papier gezeichnet hat, einige derselben immer nur in einer ganz bestimmten Entfernung des Papiers vom Auge verschwinden werden. Den entsprechenden Abstand von der Cornea muss man, während man die Richtung der Sehachse constant erhält, durch allmähliges Annähern und Entfernen des Gegenstandes vom Auge aufsuchen. — Ist die Entfernung des Punktes 1 vom Auge und die der Punkte 1, 2, 3, 4, von einander bekannt, so lässt sich mit Zugrundelegung des mittleren Auges die Lage und Ausdehnung der unempfindlichen Stelle an der Retina berechnen, wie ein Blick auf unsere Figur lehrt. Honnover, Thomsen, Listing, E. H. Weber u. A. haben Messungen des blinden Fleckes am lebenden, und des Sehnerveintritts am todten Auge angestellt und die mittlere Grösse beider überstimmend gefunden.

Im Gegensatz zum Eintritt des n. opticus ist aber die fovea centralis und ihre nächste Umgebung sehr empfindlich gegen Aetherwellen. Diese Orte entbehren nun die Nervenröhren, während der blinde Fleck nur diese Elemente führt. Daraus ist sogleich zu folgern, dass es nicht die letzteren sind, welche unmittelbar durch Aetherwellen erregt werden. (Bowmann). Auf diesen Gedanken fussend, hat H. Müller *) den Beweis erbracht, dass die Zapfen und Stäbchen erster Hand durch die schwingenden Aethermoleküle verändert werden, und dass sie darauf, wahrscheinlich mit Hilfe der Stab- und Zapfenfäden, der Körner und Ganglienkörper, ihre Erregung auf die Nervenröhren übertragen.

Den schlagendsten Grund für den wichtigen Satz von H. Müller liefert das Verhalten der Schatten, welche die Gefässe der art. centr. retinae dann auf den empfindlichen Theil der Retina werfen, wenn nur ein einziger Punkt (homozentrisches Licht) Strahlen in die Augen schickt. (Siehe unter entopt. Erscheinungen, Purkinje's Aderfigur.) Da hierbei die Retinalgefässe als Schatten aufgefasst werden, so muss das empfindende Werkzeug hinter denselben liegen, also jenseits der Ganglienkörper; die Schatten nehmen nun aber im Gesichtsfeld Bewegungen an, wenn der leuchtende Punkt seine Stellung ändert; aus dem Umfang dieser, mit dem Zirkel zumessenden Bewegung kann aber geschlossen werden auf die Entfernung der empfindenden Flächen von den Gefässen. Eine Ausführung der Messung und Rechnung bringt das Ergebniss, dass der empfindende Ort 0,2 bis 0,3 M. M. von den Gefässen entfernt ist, gerade so weit, als die mikrometrische Messung jene Entfernung feststellt. Dazu kommt, wie später zu erörtern sein wird, dass mit Zuhilfenehmen keines andern Theils der Retina die Thatsachen des räumlichen Sehens, als da sind Deutlichkeit und Schärfe des Sehens, zu erörtern sind. — Aus dem Cephalopoden-Auge kann endlich der unwidersprechlichen Beweis für die Möglichkeit mit dem Zapfen und Stäben Licht zu empfinden, geliefert werden. Denn in diesem Auge sind nur jene Elemente dem Lichte ausgesetzt, während alle übrigen durch eine starke Pigmentlage vor seinen Angriffen geschützt sind.

b) Die Wellen des Aethers sind nur dann im Stande Lichtempfindungen zu erregen, wenn sich ihre Längen jenseits gewisser Grenzen halten; namentlich sind alle Strahlen des Spektrums, deren Wellen länger als die rothen sind, unsichtbar.

Die Strahlen jenseits der violetten (die übervioletten) wurden lange Zeit für unsichtbar gehalten; die Erklärung dieser scheinbaren Abweichung hat zu vielen an und für sich interessanten Controversen geführt. Die Strahlen sind aber in der That sichtbar, und zwar so weit, als das Spektrum überhaupt reicht (Helmholtz**)). Bei schwachem Licht sind sie indigblau, bei starkem weissblau gefärbt (Stockes, Helmholtz).

c) Die optisch einfachen, durch das Prisma nicht weiter zerlegbaren Strahlen des sichtbaren Spektrums erzeugen insgesammt die Empfindung des Weissen, wenn die lebendige Kraft ihrer Schwin-

*) H. Müller l. c. 97.

**) Poggend. Annalen 94. Bd. 205.

gung, (die Lichtintensität) eine sehr beträchtliche ist. Helmholtz, Moser. In allen andern Fällen erscheinen sie farbig; die bestimmte Farbe, welche die einfache Aetherwelle erregt, ist abhängig von ihrer Wellenlänge in der Art, dass die Wellen kürzester Länge indigblau, die der grössten Länge roth, die zwischen liegenden aber, vom brechbarsten bis zum weniger brechbaren gezählt, violett, blau, grün, gelb, orange erscheinen. — In den bezeichneten Grenzen der Lichtintensität kommt den Farben des Spektrums die Fähigkeit zu, nur einen Farbeneindruck zu erzeugen; Newton. Der berühmte Optiker Brewster hatte, auf neue Versuche gestützt, die Behauptung ausgesprochen, dass jede der prismatischen Farben, die man bisher für einfach gehalten, durch absorbirende Mittel noch weiter zerlegbar sei, so dass eine jede derselben selbst noch verschiedene Farbenempfindungen erzeugen könne. Helmholtz, der die Lehre Newtons in Schutz nimmt, hat die Gründe, aus denen Brewster irrt, nachgewiesen.

d) Gemischte Strahlen erscheinen entweder weiss oder farbig. Die Empfindung des Weissen wird erzeugt durch Mischung der farbigen Strahlen in einem solchen Verhältniss, in dem sie im unzerlegten Sonnenlicht enthalten sind; ferner, wie Helmholtz gegen Newton darthut, durch Mischung einer gewissen Anzahl von je zwei einfachen Strahlen des Spektrums. Diejenige Farbe, welche einer gegebenen beigemengt werden muss, um Weiss zu erzeugen, nennt man die complementäre der letzteren. In der folgenden von Helmholtz entworfenen Tabelle sind die einfachen Farben des Sonnenspektrums, die miteinander gemischt Weiss geben, einander gegenübergestellt; die Zahlen hinter einer jeden Farbe bedeuten die Wellenlängen derselben in Milliontheilen eines Pariser Zolls.

Farbe.	Wellenlänge.	Complementärfarbe.	Wellenlänge.
Roth	2425	Grünblau	1818
Orange	2244	Blau	1809
Goldgelb	2162	Blau	1793
Goldgelb	2120	Blau	1781
Gelb	2095	Indigblau	1716
Gelb	2085	Indigblau	1706
Grüngelb	2082	Violett	1600

Grün ist also die einzige einfache Farbe, welcher eine einfache complementäre fehlt. Nach Helmholtz ist ihr Complement Purpur, d. h. ein mit violett gemischtes Roth.

Ueber die Folgen anderer Mischungen der einfachen Spektralfarben gibt die folgende Zusammenstellung Aufschluss:

Roth und Violett gibt	Purpur	Gelb und Violett gibt	Rosa
Roth und Blau „	Rosa	Gelb und Grün „	Gelbgrün
Roth und Grün „	Mattgelb	Grün und Violett „	Blassblau
Roth und Gelb „	Orange	Blau und Violett „	Indigblau
Grün und Blau „	Blaugrün		

Diese Angaben findet man bemerkenswerther Weise ebensowohl bestätigt, wenn die einfachen Aetherwellen schon zu einer resultirenden Bewegung zusammengesetzt sind, bevor sie in das Auge gelangen, als auch dann, wenn man sie erst in den Stäbchen der Retina mischt, ja sogar dann noch (siehe ident. Netzhautstellen), wenn die aus verschiedenen Farbeneindrücken hervorgehenden Erregungen der Nervenröhren erst in den Empfindungsorganen combinirt werden. Da diese Erfahrungen die Annahme begünstigen, dass die den Aetherschwingungen zu Grunde liegenden periodischen Bewegungen sich in analoger Weise durch die Nerven fortpflanzen, so mag die Bemerkung gestattet sein, dass Grailich den theoretischen Versuch gemacht hat, die Perioden der Aethermolecüle, welche unter dem Einfluss mehrerer einfacher Farben schwingen, abzuleiten.

Helmholtz bediente sich, um die Farben des Spektrums zu mischen, einer sehr feinen aber etwas complizirten Methode, die ihm nicht allein erlaubte, jede einzelne Farbenabstufung aus dem prismatischen Sonnenbild vollkommen rein, sondern auch in verschiedenen Helligkeitsgraden zu erhalten. Sie machte es zu dem noch möglich, annähernd den Grad der Helligkeit der beiden in die Mischung eingehenden einfachen Farbe zu vergleichen. Ausser diesem Verfahren, das in der Originalabhandlung nachzusehen, gibt er noch einen andern einfachen Weg zur Darstellung der Wellenmischungen an, welcher genügt, um das Wesentlichste der Erscheinungen darzustellen. Dieses Mittel ist dasselbe, mit dem er für die physiologische Optik schon so viel geleistet, nämlich eine Glasplatte, welche zugleich als Spiegel und durchsichtiges Mittel wirkt. Er stellt nämlich ein unbelegtes Spiegelglas senkrecht auf eine dunkle Platte, und legt vor die Fläche des Glases, von welcher aus der Beobachter an sie sieht, ein gefärbtes Stück Papier oder dergl., und darauf hinter das Glas auf den Ort, an welchem das Spiegelbild der ersten Farbe erscheint, ein andersfarbiges Papier, so dass beide Farben auf demselben Wege in das Auge des Beobachters dringen. — Czermak*) bedient sich zur Farbenmischung einer Modifikation des Scheiner'schen Versuchs. Er setzt nämlich vor jede der feinen Oeffnungen in den dunklen Schirm (v. p. 256) ein anderes gefärbtes Glas. Auf der Retina des Auges, welches durch einen so vorbereiteten Apparat sieht, werden also zwei verschieden gefärbte Zerstreuungskreise, deren Durchmesser der Pupillenöffnung entspricht, geworfen; sie muss sich also theilweise decken; in dem den beiden Kreisen gemeinsamen Abschnitt geschieht die gewünschte Mischung. — Wesentlich verschieden hiervon gestaltet sich die Combination, welche durch den

*) Wiener akademische Berichte XVII. 565.

Farbekreisel erzeugt wird, d. h. durch eine Scheibe, deren verschiedene Sektoren mit verschieden farbigen Papieren beklebt sind. Führt man diese Scheibe in rascher Drehung vor dem Auge her, so erscheint dieselbe in der Mischfarbe der einzelnen aufgetragenen einfachen, obwohl zu jeder Zeit immer nur eine ihr Licht in die Retina schickt. Diese Farbe aber trifft auf die Stäbchen, während in ihnen noch der Zustand fortdauert, den die kurz vorher anwesende Farbe erzeugt hatte. Hier geschieht also offenbar die Mischung erst in den Stäbchen selbst.

Der Grund, warum bei dem Mischen von Farbstoffen (in der Malerei etc.) ganz andere Erscheinungen vorkommen, liegt darin, dass in diesem Fall keine Mischung, sondern eine Aussonderung von Aetherwellen stattfindet, indem aus dem Gemenge der Pigmente nur das Licht zu uns dringt, was von jedem derselben durchgelassen wird. Löscht also z. B. ein blaues Pigment alle Farben aus, ausser grün und blau, und gelb alle Farben, ausser grün und gelb, so wird durch ein Gemenge dieser Stoffe nur grün hindurchdringen können. Darum gibt auch ein Gemenge von grün und roth u. s. w. schwarz oder, wie man sich ausdrückte, grau, weil der grüne Farbstoff nur grüne und der rothe nur rothe Strahlen durchlässt u. s. w.

In das Weiss, welches durch Mischung der einfachen Spektralfarben erzeugt wird, sind erfahrungsgemäss die beiden Farben nicht mit gleicher Helligkeit eingetreten (d. h. die eine der beiden Farben macht für sich einen stärkern Lichteindruck, als die andere). Das Verhältniss der Helligkeit, in dem beide zueinander stehen, wenn durch ihre Mischung weiss erzeugt wurde, hat Helmholtz annähernd bestimmt und dabei gefunden, dass dasselbe anders ausfiel, wenn statt eines Spektrums aus ungeschwächtem Sonnenlicht ein solches von gedämpften angewendet wurde. So verhielt sich die Helligkeit des

	bei starkem Licht	bei schwachem Licht
Violett zu Grüngelb	= 1:10	= 1:5
Indigo „ Gelb	= 1:4	= 1:3
Cyanblau zu Orange	= 1:1	
Grünblau zu Roth	= 1:0,44	

Man hätte demnach erwarten sollen, dass sich der Farbenton der Mischfarben ändern würde, wenn man die Lichtmenge des einfallenden Lichts geändert hätte, ohne dass die Art der gemischten Farben geändert wurde. Dieses geschah aber nicht, sondern das bei starkem Licht erzeugte Weiss blieb als solches stehen, wenn auch plötzlich das Sonnenlicht geschwächt wurde. Helmholtz vermuthet als Grund dieser Erscheinung, dass wir gewöhnt sind, das Sonnenlicht als das normale Weiss anzusehen. Wenn also in künstlichen Farbenmischungen die blauen bei geringer, die gelben bei grosser Lichtstärke überwiegen, so muss dasselbe auch im Sonnenlicht der Fall sein.

e) Wenn Lichtstrahlen von verschiedener Färbung gleichzeitig differente Orte der Retina beleuchten, so erregt öfter der eine von ihnen eine andere Empfindung, als wenn er für sich allein die Retina getroffen haben würde. Diese scheinbare Farbe belegt man mit dem Namen der Neben-, Contrast- oder subjektiven Ergänzungsfarbe. Einen Ueberblick über die Nebenfarben, welche das weisse Licht annimmt, wenn zugleich noch gefärbtes auf die Retina trifft, gibt die folgende Tabelle:

Weisses	Licht	erscheint	grün,	wenn gleichzeitig	roth	auffällt
„	„	„	violett	„ „	gelb	„
„	„	„	blau	„ „	orange	„

und umgekehrt, es erscheinen die weiss erleuchteten Stellen roth, grün, orange, wenn andere Orte desselben Auges gleichzeitig von grün, violett, blau getroffen werden.

Diese Färbung weissen Lichtes beobachtet man in vollkommener Schärfe, wenn man in ein grösseres Stück eines durchsichtigen gefärbten Papieres (feines Brief- oder Fliesspapier in Carmin-, Indigo- u. s. w. Lösung getaucht) eine Lücke schneidet, auf dieselbe eine Scheibe weniger durchsichtigen weissen Papiers (Schreibpapier) klebt, und diese Combination gegen das helle Fenster betrachtet, so dass gleichzeitig durch beide Papiere das Licht in das Auge fällt. Im übrigen sind die Bedingungen der scheinbaren Umsetzung weissen Lichtes noch durchaus nicht im Klaren; als feststehend darf angesehen werden: 1. Die primäre oder, wie sie Brücke nennt, die induzirende Farbe muss einen grossen Theil des Sehfeldes einnehmen. — 2. Die ursprünglich gefärbten Strahlen müssen selbst noch mit weissem Licht gefärbt sein, denn es erreignet sich die scheinbare Färbung des weissen Lichtes an dem vorher beschriebenen Papier nicht, wenn man dasselbe auf einen dunklen undurchsichtigen Körper auflegt. 3. Das rein weisse Licht muss etwass gedämpft sein, wenn es eine Färbung annehmen soll. 4. Die Lebhaftigkeit der Farbe des weissen Lichtes (induzirte Farbe) steigert sich nur bis zu einem gewissen Grade mit der Tiefe der induzirenden. 5. Die Lebhaftigkeit der induzirten Farbe steigert sich mit der Zeitdauer der Anschauung der induzirenden. 6. Nach Brewster und Fechner erscheint das weisse Licht nicht immer in der oben bezeichneten Färbung, sondern auch zuweilen in der gleichartigen, so dass ein weisser Fleck auf roth ebenfalls roth wird. —

Fallen gleichzeitig zwei Farben auf die Retina, so heben sie sich meist nur schärfer gegen einander ab, ohne sich aber in ihrem Ton zu ändern. — Die einzige bekannte Ausnahme besteht darin, dass, wenn man dieselben Farben von stärkerer und geringerer Intensität nebeneinander sieht, die schwächere (mit mehr weiss gemengte) die Färbung annimmt, welche unter diesen Umständen das weisse Licht erhalten würde, so dass z. B. ein helles roth neben einem tiefen roth grün erscheint (Brücke, Fechner).

Aus diesen Thatsachen folgert sich, dass die Bestandtheile des Sehnerven einen gegenseitigen, empfindungsbestimmenden Einfluss

auf einander ausüben. Diese Wechselwirkung zwischen den empfindenden Theilen ereignet sich wahrscheinlich im Hirn.

Ausser dieser Folgerung, respektive im Gegensatz zu ihr, liessen sich zwei andre ziehen, die nämlich, dass die Contrastfarbe eine reelle, im Auge vorhandene sei; und die andere, dass das Auftreten der Contrastfarbe in einer Täuschung des Urtheils begründet sei. — Diese erste von beiden Annahmen entbehrt jeglicher Begründung, indem z. B. gar nicht abzusehen ist, wie das weisse Licht, welches einen Retinafleck beleuchtet, sich in grünes verwandeln sollte, selbst wenn das Auge an denselben Stellen mit roth erhellt würde. — Die andere Hypothese erscheint auch nur so lange annehmbar, als man die Richtigkeit der früheren Annahme über die Zusammensetzung des weissen Lichtes voraussetzt. So lange man z. B. glaubte, dass durch die Zusammensetzung von grün und roth weiss entstehe, konnte man es auch wahrscheinlich finden, dass, wenn gleichzeitig auf verschiedene Nervenröhren weisses und rothes Licht wirke, die Seele im Gegensatz zu den rein rothen Strahlen das Weisse, welches neben roth nur noch grün besitzen sollte, als grün empfinden würde. Dieser Annahme ist aber durch die überraschenden Entdeckungen von Helmholtz der Boden entzogen worden, denn einmal ist grün gar nicht die Complementarfarbe zu roth und dann könnte ein aus gelb und blau hervorgegangenes weiss neben roth doch auch nicht grün erscheinen. — Zudem erläutert die Vorstellung, dass eine Urtheilstäuschung dem Erscheinen der Contrastfarben zu Grunde liege, auch andere Thatsachen nicht. Warum muss die induzirende Farbe licht und das Weisse gedämpft sein? Warum erscheint neben der gesättigten Farbe das Weiss eher in der gleichartigen als der contrastirenden Färbung?

Die Behauptung, dass die gegenseitige Beziehung der Erregungszustände im Hirn stattfinde, werden wir später begründen. —

f) Wenn weisses Licht eine Retinafläche beleuchtet, nachdem diese unmittelbar vorher von einem intensiven farbigen Strahl getroffen war, so erregt das Weiss des Sonnenlichtes eine Farbenempfindung; und namentlich erscheint meist die Nebenfarbe des frühern vorhanden, so dass z. B. der weisse Strahl nach dem Betrachten von Roth die Empfindung von Grün u. s. w. erzeugt. Aus dieser Thatsache folgert man, dass innerhalb der Nervenröhren die Empfindlichkeit für die eine Farbe abgestumpft werden kann, während die für eine andere in vollkommener Kraft bestehen bleibe (Young). Diese Folgerung wird um so wahrscheinlicher, als in der That nach anhaltendem Betrachten einer Farbe, diese an ihrer Stärke verliert, während die unmittelbar nachher im Sehfeld erscheinende physiologische Nebenfarbe sehr lebhaft empfunden wird.

g) Verschiedene Individuen sind mit einem sehr abweichenden Vermögen der Farbenunterscheidung begabt. Namentlich geht aus den Untersuchungen von Seebek hervor, dass sich die Menschen, welche die Farben mangelhaft unterscheiden, in zwei Classen bringen lassen, von denen die eine alle Farben mangelhaft empfindet,

während die zweite gelb noch gut erkennt, während sie roth als grau und blau als blaugrau sieht.

h) Ueber das Verhältniss zwischen der Stärke der Lichtempfindung und der lebendigen Kraft, mit welchem die Aethermolekeln schwingen, können wir nur wenige Aussagen machen, weil uns absolute Maasse für die Empfindung, wie für die Aetherschwingungen fehlen und wir endlich auch nicht wissen, wie viel des auf die cornea gefallenen Lichtes auf dem Wege durch die brechenden Medien des Auges verloren ging.

Die Stärke der Empfindung, welche durch den Lichtäther angeregt wird, ist abhängig von den Besonderheiten der Aetherwellen, der Empfindlichkeit der Retina, dem Orte, an welchem sie getroffen wird, und der Summe der Nervenröhren, welche gleichzeitig erregt werden.

α) Innerhalb gewisser Grenzen wächst mit der Intensität des Lichtes d. h. mit der Excursion, welche ein schwingendes Aethermolekel macht, die Stärke der Lichtempfindung. — Wahrscheinlich müssen die Aethermolekeln erst eine gewisse Schwingungsintensität erreicht haben, bevor sie im Stande sind, die Empfindung zu wecken; haben sie diese erreicht, d. h. wird ein Lichtquell sichtbar, so erhöht sich nun allmälig mit der Intensität der leuchtenden Theilchen die Empfindung; bei fortgesetzter Steigerung des Lichtes tritt aber endlich Blendung ein, das Analogon des Schmerzes, bei deren Anwesenheit durch eine noch kräftigere Wirkung des Lichtes, keine heftigere Empfindung mehr erzielt werden kann. — Auf die Stärke der Empfindung übt ausser der Excursion des schwingenden Theilchens auch die Wellenlänge einen Einfluss. Die Wellen kürzerer Längen, d. h. die nach dem violetten Ende des Spektrums hin liegenden, verschwinden, nämlich bei fortgesetzter gleichmässigen Schwächung der Lichtquelle, später als die nach dem rothen Ende hin gelegenen. So werden z. B. bei hereinbrechender Dämmerung die rothen Farben eher, als die blauen ausgelöscht; hierher gehört auch die schon vorhin erwähnte Thatsache, dass zwei Farben des Spektrums, die bei einer bestimmten Lichtstärke gleiche Helligkeit besitzen, ungleich hell werden, wenn man die Stärke des zu zerlegenden Lichtes dämpft. Dove erläutert dieses daraus, dass sich die rascher aufeinander folgenden Stösse des blauen Lichtes in den Nerven summiren, während dieses bei den langsamer aufeinander folgenden des rothen Lichtes nicht geschieht. — Bei gleicher Lichtstärke erregen die verschiedenen Farben die Retina auf ungleiche

Weise, und namentlich wirken die brechbaren Strahlen viel sanfter, als die weniger brechbaren; (Pouillet, Grailich). In der That nimmt jedermann ein wenig beleuchtetes roth schreinend im Gegensatz zu einem hellbeleuchteten blau oder violett. Grailich sucht diese Eigenschaft der Wellenlänge darin, dass die Nervenmoleküle unter dem Einfluss längerer (rothen) Wellen seltener aber dafür weiter aus ihrer Gleichgewichtslage getrieben werden, als durch die kürzern (violetten). Diese Erklärung würde annehmbarer sein, wenn die physiologische Voraussetzung von der Schwingung der Stäbchenmoleküle erwiessen wäre.

Die Methode, welche Plateau *) anwendete um empfindungserzeugende Kräfte der Farben zu messen, ist im Prinzip fehlerhaft. Sie gibt in der That nur Aufschluss darüber, in welchem Verhältniss die Stärke der Nachwirkung steht, welche zwei Farbeneindrücke hinterlassen.

β) Die Retina verliert mit dauernder Erregung ihre Empfindlichkeit gegen weisses und gefärbtes Licht; sie ermüdet um so rascher, von je hellerem Licht sie getroffen wurde. Angemerkt ist schon, dass durch anhaltende Einwirkung einer Farbe die Empfindlichkeit des Sehnerven nur für diese, aber nicht zugleich für andere Farben abgestumpft wird.

γ) Nach Brewster **) sollen die Seitentheile der Retina (bei gleicher Pupillenweite?) ein constantes Licht lebhafter empfinden, als die mittleren; für ein lebhaftes roth gilt aber das gerade Gegentheil, es erscheint auf den Seitentheilen der Retina schwarz (Aubert).

δ) Je grösser die Retinaflächen sind, welche gleichzeitig vom Licht getroffen werden, um so intensiver wirkt dasselbe, wie daraus hervorgeht, dass ein grelles Licht mit einem, aber nicht mit zwei Augen zugleich, ohne Blendung zu erzeugen, angesehen werden kann. —

B) Mechanische Einwirkungen. Durch Druck oder Zerrung wird, ohne dass eine bekannte Regel innegehalten würde, bald die Empfindung des weissen, bald die des gefärbten Lichtes erzielt. — Auf diesem Wege kommen die feurigen Kreise zu Stande, welche man bei einem gelinden Fingerdruck auf das Auge, und zwar auf der dem Druck diametral entgegengesetzt liegenden Augenseite, entstehen sieht; ferner das Funkensehen bei heftigem Schlagen auf das Auge; ferner die leuchtenden Ringe bei raschen Drehungen des Auges,

*) Radicke, Handbuch der Optik II. Bd. 259.

**) Poggendorff's Annalen 27. Bd. 497.

welche von Zerrungen des Sehnerven rühren; ferner die bei sehr empfindlichen Zuständen auftretenden, vor dem Auge hin und her fahrenden Funkten, welche durch die in den Capillarnetzen der a. centralis retinae verlaufenden Blutkörperchen veranlasst werden *), und endlich wohl auch das sogenannte Schattenfeld, welches in einem feinem Lichtstaub besteht, der beim Schliessen der Augenlider in selbst dunklen Räumen über die ganze Ausbreitung der Retina beobachtet wird.

C) Electrische Einwirkungen **). Abgesehen von den Feuererscheinungen, durch welche die Electrizität erregend auf die Retina wirkt, ist sie auch auf andere Art, nach Analogie ihrer Einwirkung auf die übrigen Nerven, zur Auslösung der Lichtempfindung geschickt. — Es scheint sowohl der an Intensität constante, als schwankende Strom Lichtempfindung zu erregen, so jedoch, dass bei der Schwankung des Stroms das Licht lebhafter wird. Nach Pfaff, Ritter und Purkinje erkennt der Sehnerv auch die Strömungsrichtung der Electrizität, und zwar soll der im Nerven aufsteigende (von der Peripherie zum Gehirn gerichtete) Strom lebhafter wirken, als der absteigende. Das Licht selbst, welches zur Empfindung kommt, ist ein farbiges; nach Purkinje erscheinen violette und gelbliche Farbentöne, die sich jedoch nicht gleichmässig über die Sehfläche ausbreiten, sondern von dunklen Stellen unterbrochen sind. Mit der Umkehr der Strömung verändert sich auch die Oertlichkeit der Licht- und Sehflächen in der Art, dass die früher dunklen Stellen hell und die hellen dunkel werden.

2. Beharrungsvermögen; Nachbilder ***).

Ein Lichtstrahl, der zu der Retina gedrungen ist, setzt sie in verschwindend kleiner Zeit nach der Berührung in Erregung, wie daraus hervorgeht, dass wir das momentane Licht eines electrischen Funkens nicht allein sehen, sondern auch die von ihm beleuchteten Gegenstände erkennen (Volkmann). Diese Erregungszustände der Retina werden aber nicht ebenso momentan von der Seele empfunden; denn ein dunkler Gegenstand, der sich vor einer weissen Grundlage mit einer bedeutenden Geschwindigkeit bewegt, bildet in der Empfindung einen dunklen Streifen, eine Thatsache, aus der hervorgeht, dass

*) Caiblin, die Wahrnehmung der Choroidealgefässe. Tübingen 1856.

**) Du Bois-Reymond, Thier. Electrizität I. 284 u. 345.

***) Volkmann, Artikel Sehen. Wagner's Handwörterbuch. — Radicke, Handbuch der Optik II. Bd. 255 u. f. Ausserdem die erwähnten Abhandlungen von Brücke u. Fechner. — Tourtal, Jahresbericht über Fortschritt der Physiol. des Gesichtsinnes in Müller's Archiv. — Plateau, Poggend. Annalen Bd. 32 und Annal. de chimie et physique LVIII. Bd.

die unmittelbar hinter dem dem dunklen Körper in's Auge fallenden weissen Strahlen nicht augenblicklich zur bewussten Empfindung kommen; d'Arcy.

Die einmal zum Bewusstsein gekommene Lichtempfindung verschwindet aber nicht momentan mit der Empfindung des objektiven Lichtes; es bleibt eine Nachwirkung, ein Nachbild, zurück, welche namentlich die Form des gesehenen Gegenstandes mit grosser Treue festhält.

Unser Sehfeld ist in der That fast ununterbrochen mit Nachbildern ausgefüllt, welche von uns nur übersehen werden, so lange wir nicht durch genaue Selbstbeobachtung die Fähigkeit erlangt haben, diese meist zarten Bilder neben den gewöhnlich stärkern objektiven Lichteindrücken aufzufassen. Zum ersten Studium des Nachbildes ist dasjenige einer nicht zu hellen Kerzenflamme empfehlenswerth. Sieht man Abends in eine solche nicht zu helle Kerzenflamme 30 bis 60 Sekunden stier und unverrücklich, schliesst dann die Augen und deckt sie noch mit den Händen, so wird man das genaueste Abbild der Flamme vor sich schweben sehen. Da man das Kerzenlicht innerhalb gewisser Grenzen durch Entfernen desselben vom Auge schwächen und steigern kann, so eignet es sich vortrefflich, um sich die grössere Zahl der im folgenden erläuterten Erscheinungen vorzuführen. — Alle Versuche über Nachbilder und noch mehr über Abklingen der Farben müssen mit der äussersten Sorgfalt angestellt werden, weil sie Augenschwäche, ja gänzlichen Verlust der Sehkraft herbeiführen können. Fechner, Plateau und Brücke, welchen wir vorzugsweise unsere Kenntnisse über die Nachbilder verdanken, haben ernste Folgen ihres Strebens empfinden müssen.

Die Erscheinungen dieses Nachbildes sind nun verwickelter Art.

a) Obwohl jeder Lichteindruck ein Nachbild hinterlässt, wie das Beispiel des electrischen Funkens darthut, so sind doch gewisse Bedingungen nöthig, wenn ein Strahl, auch nach seiner Entfernung aus dem Auge, während einer merklichen Zeit deutlich empfunden werden soll. In dieser Beziehung lehrt die tägliche Erfahrung, dass, wenn ein Licht von jeder beliebigen Stärke ein Nachbild hervorruft, doch ein intensives in viel kürzerer Zeit die Nachwirkung deutlich erzeugt, als ein weniger intensives, und dass verschieden gefärbte Körper bei gleicher Beleuchtungsstärke zu demselben Zwecke ungleicher Zeiten bedürfen. Stellt man die Farben nach ihrer Fähigkeit ein Nachbild zu erzeugen in eine Reihe, so folgen sie nach der Ordnung: weiss, gelb, roth, blau; (Plateau).

b) Die Zeit, während welcher ein deutliches Nachbild im Sehfeld verharrt, ist abhängig α) von der Intensität des primären Lichteindrucks, in der Art, dass das Nachbild eines intensiven Lichteindrucks länger verharrt, als das eines schwachen. β) Je länger objektives Licht die Retina traf, um so dauernder erweisst sich die Nachwirkung. γ) Alles andere gleichgesetzt, verbleiben die Nach-

bilder verschiedener Farben, bis zu ihrem vollständigen Verschwinden, eine ungefähr gleiche Zeit, dagegen verliert das Nachbild des Weissen rascher an seiner Lebhaftigkeit, als das des Gelben, Rothen, Blauen. (Plateau.)

Um die Zeiten der Nachbilder zu messen, wendete Plateau eine runde Scheibe von bekanntem Durchmesser an, die mit verschiedener aber messbarer Geschwindigkeit gedreht werden konnte. Diese Scheibe überzog er mit einem lichtlosen Grund (schwarzen Sammet) und befestigte auf diesem einen Kreissektor aus gefärbtem Papier. Dreht man nun diese Scheibe, so wird bei einer gewissen Geschwindigkeit derselben dem Auge auch die schwarze Abtheilung mit der Farbe des Sektors überzogen erscheinen; da man die Weglänge des schwarzen und des gefärbten Theils und die Umdrehungsgeschwindigkeit kennt, so lässt sich leicht berechnen, welche Zeit verflossen ist während des Vorbeigangs des schwarzen Theils. Die ganze Zeitdauer des Nachbildes wird nun gegeben sein durch die Umdrehungsgeschwindigkeit, bei welcher der lichtlose Theil der Scheibe gerade noch überall gefärbt ist. Die Zeitdauer des ungeschwächten Lichtbildes aber ist durch die Drehungsgeschwindigkeit gegeben, bei welcher an allen Orten der Scheibe die Farbe eine gleichmässige ist, so dass das Auge nicht entscheiden kann, ob die schwarze oder gefärbte Abtheilung an ihm vorübergeht.

c) Das Nachbild eines Gegenstandes, der aus mehr oder weniger hell beleuchteten Stücken besteht, prägt sich, wenn es bei verschlossenen mit der Hand bedeckten Augen betrachtet wird, entweder so aus, dass Objekt und Nachbild, rücksichtlich der Vertheilung des Hellen und Dunklen, sich genau entsprechen — positives Nachbild — oder so, dass die dunklen Partien des Objekts im Nachbild hell und die hellen des erstern im letztern dunkel sind — negatives Nachbild. — Lässt man während des Bestehens eines positiven Nachbildes weisses Licht in das Auge, so blasst ersteres ab und verwandelt sich sogar in ein negatives Nachbild, dringt dagegen bei Gegenwart eines negativen Nachbildes weisses Licht in die Retina, so wird dasselbe deutlicher. Diese Erscheinung beweist, dass das positive Nachbild auf einer fortdauernden Erregung, das negative auf einer Abstumpfung der Sehkraft in den betreffenden Stellen beruht; Brücke.

Erscheint z. B. nach dem Betrachten eines hellen Gegenstandes auf dunklem Grunde in dem geschlossenen vor Licht vollkommen geschützten Auge ein positives Nachbild, so wird dieses beim Zutritt weissen Lichtes (beim Oeffnen des Auges) undeutlicher, weil durch das Licht der noch erregbarere den dunklen Grund nachempfindende Retinatheil stärker erregt wird, als der durch den vorhergehenden Eindruck schon angegriffene hell nachempfindende; es verschwinden also durch objektives Licht nicht allein die Unterschiede der Erregung, sondern es erhält die vorher dunkle Masse ein Uebergewicht von Helligkeit über die vorher weisse, mit andern Worten: das positive Nachbild wird negativ. — Prägt sich das Nachbild eines weissen Gegenstandes auf schwarzem Grund dagegen im bedeckten Auge negativ aus, so müssen beim Zutritt weissen Lichtes die hellen Partien noch heller werden, weil sie durch die früher

weniger kräftige Erregung im geringeren Grade abgestumpft, das weisse Licht deutlicher empfinden, als die durch den frühern kräftigern Eindruck ganz abgestumpften dunklen Stellen; mit andern Worten, das im dunklen Auge negative Nachbild wird beim Lichtzutritt noch deutlicher negativ.

d) Die Nachbilder erscheinen bald in der Farbe des ursprünglichen Bildes, bald mit der Contrastfarbe desselben, d. h. ein grüner Gegenstand wird roth, ein blauer orange, ein violetter gelb; man unterscheidet darum gleichfarbige identische, und contrastfarbige complementäre Nachbilder. Es können dieselben aber ausser der Gleich- und Contrastfarbe auch noch mancherlei andere annehmen; namentlich kommt es vor, dass die in der Nachempfindung begriffenen Retinastellen durch einen gesetzmässigen Wechsel verschiedener Farbenempfindung zur Ruhe gelangen. Abklingen der Farben.

Auf dieses verschiedenartige Auftreten der Farben im Nachbild übt einen Einfluss: die Stärke und die Mischung des erregenden Lichtes; die Beleuchtung des Auges während des bestehenden Nachbildes; die Zeit selbst, während welcher das Nachbild bestand, indem dasselbe Bild in der Zeit seine Farbe wechselt, (Phasen des Nachbildes); Bewegungen des Auges bei gegenwärtigem Nachbilde und endlich die besondern Eigenschaften der Sehnerven verschiededener Menschen. — α) Einfarbiges Licht erzeugt immer nur gleich- und contrastfarbige Nachbilder, Brücke; war das Licht schwach, so erscheint das Nachbild zuerst identisch und dann complementär, worauf es verschwindet, war aber das erregende Licht intensiv, so entsteht in dem geschlossenen Auge zuerst ein positiv complementäres, dann nach einer kleinen Pause — einer Augenbetäubung nach Fechner — ein positiv identisches, darauf ein negativ complementäres, dann abermals ein positiv identisches u. s. w. bis schliesslich das Nachbild als ein negativ complementäres verschwindet; Brücke. Beobachtet man das Nachbild dagegen bei geöffnetem Auge gegen einen weissen Grund, so wird das positiv gleichfarbige in ein negativ contrastfarbiges verwandelt (Brücke).

Die complementär gefärbten Nachbilder erzeugt man sich am besten, wenn man Abends vor dem gelblich schimmernden Milchglas der Lampe eine Federmesserklinge rasch hin- und herführt. Die Klinge erscheint jedesmal, so oft sie einen neuen Ort beschattet, blau (Tourtual). — Ebenso wenn man auf die Mitte eines Bogens durchscheinenden gefärbten Fliesspapiers ein Stück schwarzen Tuches klebt und nun den Bogen sanft vor dem Auge hin- und herführt. Das Tuch erscheint dann complementär gefärbt.

β) Gemischtes und namentlich das ganze Sonnenlicht gibt nach schwacher Einwirkung ein schwaches negatives Bild; bei

stärkerer Einwirkung zuerst ein positiv identisches und dann schliesst es durch das Farbenabklingen hindurch mit einem negativ complementären. Ueber das mannigfache Abklingen der Farben sind die staunenswerthen Versuche von Fechner*) nachzusehen.

Die Dauer, mit der die verschiedenen in der zeitlichen Reihenfolge vorkommenden Farben, die Phasen des Nachbildes, anhalten, die Reihenfolge der Farben selbst beim Abklingen ist bei verschiedenen Menschen nicht dieselbe.

Bewegungen im Auge unterdrücken oft ein Nachbild für kurze Zeit und noch mehr, die Farben desselben wechseln oft während der Bewegung.

Bisher haben wir nur der Nachbilder Erwähnung gethan, welche eintreten nach einer primären Erregung durch Aetherwellen; Drücke und electrische Ströme erzeugen aber auch Nachbilder, welche selbst Tage lang anhalten können (Ritter) und die ebenfalls in der Farbe erscheinen, die im Contrast steht zu derjenigen, welche den primären Eindruck bedingt. Purkinje.

Zur Erklärung des Farbenabklingens und der contrastfarbigen Nachbilder wusste die ältere Theorie einiges vorzubringen. Man nahm bekanntlich an, dass das weisse Licht im physiologischen Sinne aus drei Grundfarben, roth, gelb, blau bestehet, indem man glaubte, dass aus ihrer Mischung sämmtliche Farben entstehen könnten.

Diesen drei Grundfarben entsprechend sollten im Sehnerven drei verschiedene Arten von Veränderungen (gleichsam die subjektiven Grundfarben) vorgehen und diese selbst sollten innerhalb des Sehnerven an Vorrichtungen geschehen, die in gewisser Art unabhängig von einander bestanden, so dass diese Fähigkeit eine dieser drei Farben zu sehen, erloschen sein konnte, ohne Alteration der übrigen. (Young.) — Aus dieser Annahme liess sich nun folgern, dass, wenn wir anhaltend eine der drei Grundfarben oder Combinationen zweier betrachtet hätten, die Erregbarkeit für diese Farbe oder Farben erloschen sein müsste, so dass, wenn ein weisses Licht oder ein Druck, der sonst als weiss empfunden wurde, den Nerv traf, dieses nicht mehr weiss, sondern in einer Farbe gesehen werden musste, und zwar natürlich in der oder denjenigen, welche in dem früher betrachteten Bilde fehlten. So folgerte man z. B. in Uebereinstimmung mit der Thatsache, dass nach anhaltender Betrachtung von rothem Licht nun das Nachbild bei weisser Beleuchtung grün erscheinen müsse, (weil grün der alten Theorie gemäss eine Combination von blau und gelb war. — Diese Erklärung und alle daraus abgeleiteten Sätze, die zu einer bekannten Controverse zwischen Fechner und Plateau führte, deren Nichtigkeit aber schon Brücke und zwar auf dem Boden der alten Voraussetzungen gezeigt hatte, ist durch Helmholtz als eine irrthümliche dargethan. Denn es sind ja roth, gelb und blau nicht die physiologisch einfachen Farben; es gibt ja der gelbe und blaue Strahl kein Grün u. s. w. —

*) Poggend. Annalen 50. Bd. 445.

3. Wechselseitiger Einfluss verschiedener Orte der Retina aufeinander; Irradiation, Induction, Contrast *).

Die einzelnen empfindenden Bestandtheile der Retina sind durch irgend welche Vorrichtung in eine solche Beziehung zu einander gebracht, dass der Erregungszustand eines derselben auf die Erregung des andern einen Einfluss übt. Es drückt sich diese wechselseitige Anregung auf verschiedene Weise aus.

a) Ausstrahlung. Mit diesem Namen bezeichnet man die freilich nicht jedem Beobachter erscheinende Thatsache, dass ein weisser Gegenstand auf dunklem Grund grösser erscheint, als derselbe gleich grosse schwarze Gegenstand auf weissem Grund; diese Erscheinung soll sich innerhalb der Grenzen deutlicher Sehweite noch ausprägen, und die Grösse der Ausstrahlung soll wachsen: mit der Helligkeit der weissen Partien, mit der Betrachtungsdauer, durch das Vorsetzen zerstreuender Linsen vor das Auge, mit der Entfernung des Auges von dem betrachteten Gegenstand und endlich mit der Empfindlichkeit des Auges. Die Verbreiterung, die ein weisser Gegenstand durch Irradiation erleidet, soll dagegen abnehmen: wenn zwei weisse Objekte durch einen schmalen dunklen Gegenstand getrennt sind, so dass eine Irradiation die andere beschränkt, und ferner, wenn man eine convexe Linse vor das Auge bringt.

Diese Thatsachen hat meist Plateau gesammelt, der auch eine Messungsmethode des Irradiationswerthes angibt. Plateau leitet dieselben davon ab, dass die Erregung sich in der Retina allmälig von den erhellten Stellen nach den dunklen ausbreite. Siehe die Kritik dieser unwahrscheinlichen Annahme bei Fechner, Dove, Welker, Fick und Cramer. Aus den theorethischen und praktischen Discussionen, die über diesen Gegenstand gepflogen sind, geht hervor, dass die Erscheinung meist auf unvollkommener Accommodation (Welker, Cramer) und auf chromatischer Wirkung des Auges (Ad. Fick) beruht.

b) Induction. Wird die Retina nur theilweise durch homogenes Licht (einfache Farben) erleuchtet und zum Theil beschattet, so färbt sich der beschattete Ort ebenfalls in der Empfindung; Brücke, der diese Erscheinung zuerst genau von ähnlichen gesondert hat, nennt sie Farbeninduction. Nach diesem Beobachter erscheint der Schatten

*) Plateau, Poggend. Annalen I. Ergänzungsband. p. 79; Fechner ibid. 50. Bd. 195. — Welker, über Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens. Giessen 1852. — Ad. Fick, physiolog. Physik p. 321. — Cramer, Prager Vierteljahrschrift. 1855. 4. Bd. — Brewster, Poggend. Annalen 27. Bd. 490. — Brücke, Untersuchungen über subjektive Farben. III. Bd. der k. k. akad. Denkschriften. 1851. — H. Meyer, Wiener Akad. Bericht Bd. VII. 454. — Derselbe, Archiv für Ophthalmologie II. 2. 77. — Dove, über Ursachen des Glanzes und der Irradiation, Poggend. Annalen 83. Bd.

grün	wenn d. Beleuchtung durch roth					geschah	
grün	„	„	„		„	grün	„
blauviolett	„	„	„		„	violett	„
schwachblau o. grün	„	„	„		„	blau	„
schwachblau o. gelbgrün	„	„	„		„	gelb	„

Wenn sich bei diesen Versuchen kein Licht im Auge zerstreut, so beweisen dieselben, dass die sogenannte Mitempfindung eine für den Sehnerven giltige Thatsache ist.

Zum Gelingen dieser Versuche ist es nothwendig, dass alles fremde Licht abgehalten werde. Sie können darum nur in einem verfinsterten Zimmer angestellt werden, das sein einziges Licht durch eine bunte Scheibe erhält, welche nur Strahlen von einer Farbe durchlässt. Die Angaben Fechner's über die induzirte Farbe weichen merklich von denen ab, welche im Text nach Brücke mitgetheilt sind; wahrscheinlich machen sich hier individuelle Verhältnisse geltend.

c) Contrast, Verstimmung. Werden zwei verschiedene Orte der Retina gleichzeitig in Erregung versetzt, so heben sich die durch sie veranlassten Empfindungen nicht allein schärfer gegen einander ab (Contrast), sondern sie sind auch im Stande sich gegenseitig zu verändern, Verstimmung. Beispiele, die den Contrast erläutern, sind einem Jeden aus der gewöhnlichen Erfahrung zu Gebote; ein Beispiel für die Verstimmung liefert die schon früher erwähnte Thatsache, dass weisses Licht gefärbt erscheint, wenn mit ihm gleichzeitig aber an verschiedenen Orten gefärbtes vorhanden ist (p. 347). Der Contrast dürfte unzweifelhaft Folge einer im Hirn vor sich gehenden Vergleichung beider Eindrücke sein, da er sich auch noch geltend macht, wenn ein Eindruck nur je ein Auge trifft; H. Meyer. Die mit dem Worte der Verstimmung bezeichneten Thatsachen bedürfen noch genauerer Untersuchung; siehe über diese Erscheinungen besonders Fechner*) und Brücke.

Sehen.

Mit Hilfe des Sehnerven gelangen zu unserm Bewusstsein auch noch Kenntnisse von anderen Eigenschaften der Dinge, als ihre Färbung und die Stärke ihrer Beleuchtung; diese Aufschlüsse, welche sich auf die räumlichen Verschiedenheiten innerhalb eines Objektes, die constante oder wechselnde Ortslage eines solchen im Raume u. s. w. beziehen, empfangen wir aber nicht allein vermittelst der Empfindungseigenschaften des Sehnerven, sondern nur darum, weil entweder die Nervenröhren in der Retina (und dem Hirn?) eigenthümlich angeordnet sind, oder weil sich gleichzeitig mit der Er-

*) l. c. 433.

regung der Retina noch diejenigen anderer Nerven einfinden, so dass das Urtheil aus der Resultirenden beider Einwirkungen gefällt wird, jedoch in der Art, dass die das Urtheil bestimmenden Elemente nicht gesondert, sondern sogleich als Resultirende auf die Seele wirken, und sonach den Anschein einfacher Empfindung erzeugen. — Diese Akte bezeichnet man, der Lichtempfindung gegenüber, mit dem Ausdruck Sehen.

Der Physiologe untersucht nur, welche Elemente sich betheiligen an den zusammengesetzten Empfindungen des Sehens und überlässt dem Psychologen Fragen und Antworten über die besondere Art, in welcher diese Elemente unter sich und mit der Seele verknüpft werden.

1. Welche Erreger der Lichtempfindung zum Sehen benutzt werden können. Eine Musterung der lichterregenden Einflüsse, mit Rücksicht auf den vor der Retina liegenden Apparat, ergibt sehr bald, dass nur die Aetherschwingungen ein vollkommenes Sehen vermitteln können. Mechanische Veränderungen des Augapfels werden wohl ihrer Intensität nach, aber niemals ihrer Ausbreitung und Richtung nach, mit Schärfe empfunden, weil ein auf das Auge geübter Druck sich durch den mit Flüssigkeit gefüllten Augapfel nach allen Richtungen hin mit gleicher Stärke fortpflanzt. Es wird also durch den Druck jedesmal die ganze Retina in Erregung gebracht; dabei schliessen jedoch die Eigenschaften der Retina nicht jede Empfindung der örtlichen Druckwirkung aus, weil zugleich an dem relativ weichen Augapfel durch den drückenden Körper besondere Formveränderungen erzielt werden.

Von der Richtigkeit dieser Darstellung überzeugen uns die Folgen eines mit dem Finger geübten Druckes auf ein Stück der äussern Wand des Auges, die auf ihrer inneren Fläche noch mit Retina überzogen ist. Ein solcher Druck bringt in Folge der örtlichen Einbiegung des Augapfels einen der Fingergrösse entsprechenden leuchtenden Kreis hervor, der aus später zu erwähnenden Gründen auf der der Druckstelle entgegengesetzten Fläche des Auges gesehen wird, und ausser dem sehr bald die Purkinje'sche Druckfigur, d. h. eine vor der ganzen Retina schwebende, leuchtende Fläche, welche meist noch einzelne vor und hinter der Retina gelegene anatomische Elementarformen enthält.

An den electrischen Strömen, welche das Auge durchlaufen, kann man mit gespannter Aufmerksamkeit mehrere Eigenschaften unterscheiden, nämlich Richtung, Stärke und Geschwindigkeit in den Dichtigkeitsschwankungen des Stroms; es beziehen sich aber auch hier die zur Unterscheidung zu bringenden Merkmale nur auf die Intensität der Wirkungen in ihrer zeitlichen Folgen, aber nicht auf das räumliche Nebeneinander, da wegen der überall gleich grossen Leitungswiderstände, welche die Substanzen des Auges

bieten, die Strömungscurven sich beträchtlich ausbreiten. Dem gemäss geschieht das Sehen fast nur unter dem Einfluss der Aetherschwingungen, des sogenannten objektiven Lichtes.

2. Schärfe des Sehens*). Die Schärfe des Sehens, oder die Fähigkeit jeden leuchtenden Punkt eines Gegenstandes in seiner Sonderung und Umgrenzung von jedem zunächst liegenden zu unterscheiden, ist erstens abhängig vom katoptrischen und dioptrischen Apparat, insofern er die Aufgabe zu erfüllen hat, die von einem leuchtenden Punkt auf das Auge fallenden Strahlen in einen Punkt der Retina zu vereinigen, so dass niemals mehrere im Objekt getrennt liegenden Punkte auf dieselben Stellen der Retina ihr Licht werfen. Wie schon früher erwähnt, ist diese Bedingung nicht vollkommen erfüllt und würde, wäre sie erfüllt, wegen anderer noch zu erwähnender Vorrichtungen auch nicht den entsprechenden Vortheil leisten. An diesem Orte ist aber die Bemerkung noch schicklich, dass selbst bei starken Zerstreuungskreisen ein Gegenstand mit annähernder Deutlichkeit gesehen werden kann, wegen der hervorragenden Lichtstärke des mittlern Theils desselben, welcher im Contrast zu den schwächer erleuchteten Rändern vorzugsweise als das dem Gegenstand entsprechende Bild empfunden wird. Aus diesem Grunde gelingt es auch noch leicht Gegenstände, die ausserhalb der Grenzen deutlicher Sehweite liegen, scharf aufzufassen, wenn man dieselben durch feine Oeffnungen betrachtet, wodurch die störenden Zerstreuungskreise der Grenzpunkte eines leuchtenden Gegenstandes verkleinert werden.

Man halte, um sich von der Wahrheit der Thatsache zu überzeugen, den Knopf einer Stecknadel so nahe vor das Auge, bis sie die Empfindung einer verwaschenen Fläche gibt und schiebe dann ein Kartenblatt, in welches man eine feine Oeffnung bohrte, so zwischen Auge und Stecknadel, dass die Strahlen der letztern durch die Pupille fallen; augenblicklich wird die Form des Knopfes deutlich hervortreten. Ueber das Sehen durch enge Oeffnungen, welches für die Praxis von Wichtigkeit geworden ist, ist ausser der schon erwähnten und später zu erwähnenden Literatur Donders, Wyngarden**) und Helmholtz nach zu sehen.

Die Schärfe des Sehens ist ferner bedingt durch die Retina, weil es von ihren Einrichtungen abhängt, ob sie die mit Hilfe des dioptrischen und katroptischeu Apparats entworfenen Lichtpunkte dem Gehirn in der Sonderung mittheilt, in welcher dieselben auf

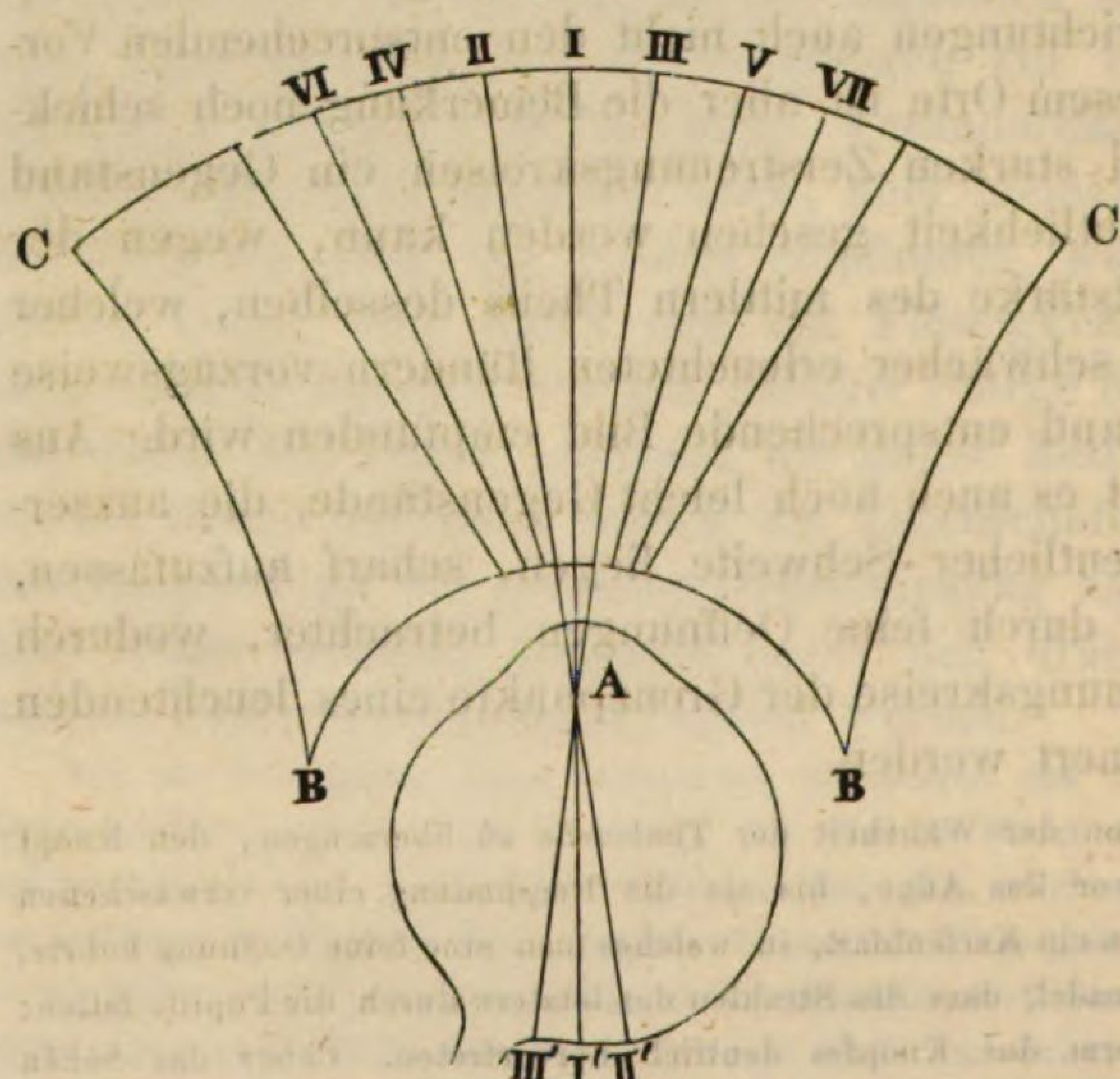
*) Hueck, Müller's Archiv 1840. — Volkmann, Artikel Sehen l. c. — Radicke, Handbuch der Optik II. Bd. 259. — E. H. Weber, Leipziger Berichte 1856. p. 125. — Ad. Fick, physiol. Physik 271.

**) De perspicillis stenopaeis Utrecht; Archiv für Ophthalmologie I. Bd. 1. Abthg.

ihrer Oberfläche entworfen wurden. Die Prüfung der Retina in dieser Beziehung ergibt, dass sie an verschiedenen Orten ihrer Ausbreitung auf verschiedene Weise die Schärfe des Gesichtes unterstützt; am vollkommensten erreicht sie dieses im Centrum des gelben Flecks, während ihr Vermögen zur gesonderten Empfindung mehr und mehr gegen die Seitentheile abnimmt. Die Centralgrube und ihre Umgebung nennt man darum die scharfsichtige Fläche (regio visionis directae) im Gegensatz zu den Seitentheilen der Retina, welche als die stumpfsichtige (regio visionis indirectae) bezeichnet wird.

Um sich eine ungefähre Vorstellung zu verschaffen, wie in der Retina die Orte deutlichen und undeutlichen Sehens gelagert sind, wendet man ein Verfahren an, was Purkinje erdacht hat. Auf einem Brett *BB CC* Fig. 70, das mit einem Ausschnitt *BB* versehen ist, beschreibt man die Kreislinie *CC*, deren Mittelpunkt jenseits der Grenzen des Brettes und zwar innerhalb des Ausschnittes *BB* gelegen ist. Darauf steckt man auf der Kreislinie *CC* mehrere Stifte *I, II, III, IV, V* u. s. w. in immer gleichen Winkelabständen von einander auf, und hält das Brett nun so vor das Auge, dass die Linie *IA*, welche einen Stift und den Mittelpunkt des Kreises *A* verbindet, in die Verlängerung der Sehachse fällt, und dass zugleich der Mittelpunkt des Kreises und die Mitte zwischen den beiden Knotenpunkten zusammenfallen. Richtet man nun bei unverrückter Augenstellung der Reihe nach seine Aufmerksamkeit auf die Stifte, so wird man bald gewahr, dass nur die in der Verlängerung der Sehachse gelegenen oder um kleine Winkel von ihr abweichenden Nadeln der Form und Grösse nach deutlich aufzufassen sind, während sie um so undeutlicher erscheinen, je mehr seitlich sie stehen.

Fig. 70.



Setzt man voraus, es sei die Lage der Knotenpunkte im Auge bekannt und für sämmtliche Strahlen, welche durch die Cornea dringen, unveränderlich dieselbe, ferner, es sei die Retina nach einem Kreis gebogen, und endlich es seien die Radien des Kreises *C C* und die Winkel *II A I, III A I* u. s. w., welche die Stifte am Mittelpunkt miteinander einschliessen, gegeben, so lässt sich durch bekannte Construktion finden, an welchen Orten der Retina *I' II'' III'''* u. s. w. sich die Stifte *I II III* abbilden.

Da nun aber in Wirklichkeit alle die Voraussetzungen nicht eintreffen, und es zugleich schwierig sein möchte, dem Brett die verlangte Stellung zu ertheilen, so werden die Angaben, welche durch Rechnung oder Construktion, wenn sie sich auf das Purkinje'sche Verfahren gründen, gefunden sind, nur entfernt der Wahrheit angenähert sein. — Nach den Versuchen von Huek, Volkmann, Valentin, E. H. Weber sind die Gegenstände am deutlichsten, welche die Netzhautgrube decken, die einen Durchmesser von etwa 0,15 M.M. besitzt, weniger deutlich sind schon die, welche jenseits einer Entfernung von 0,7 bis 1,5 M.M. vom Scheitelpunkt der Retina (in dem gelben Fleck) auffallen; von hier sinkt die Deutlichkeit rasch ab, und endlich verschwinden die Bilder ganz, wenn sie in der horizontalen Ebene zwischen 30° und 40°, und in der vertikalen um 20° bis 30° von der Sehachse entfernt gelegen sind. —

Als ein für praktische Zwecke genügendes Maass der Sehschärfe benutzt man entweder den geringsten Durchmesser, welchen der vom Licht getroffene Raum der Retina besitzen muss, um noch eine deutliche Empfindung zu veranlassen, oder den Abstand, welchen zwei gleichzeitig auf die Retina fallende Bilder besitzen müssen, um noch als getrennte unterscheidbar zu sein. — Die hierauf bezüglichen Untersuchungen scheinen, mit Rücksicht auf die erste Frage, ergeben zu haben, α) dass die Grösse des erregenden Bildes auf der Retina um so geringer sein kann, je grössere Lichtstärke es besitzt; β) dass bei gleicher Lichtstärke ein weisses Bild, um noch gesehen zu werden, kleiner sein kann, als ein blaues; Plateau; γ) dass wenn das Bild nach einer Dimension zunimmt, es unbeschadet seiner Deutlichkeit nach der andern Dimension abnehmen darf. Demnach ist ein linienförmiger Körper von beträchtlicher Länge noch sichtbar, während ein punktförmiger von gleicher Breite schon für das Sehen verschwindet. Die vorliegenden Thatsachen führen weiterhin mit hoher Wahrscheinlichkeit zu der Annahme, dass ein Bild, welches noch innerhalb der Grenzen eines einzigen Nervenprimitivrohres fällt, d. h. die Breite eines solchen nicht ausfüllt, noch sichtbar sei. — Nach Tobias Meyer, E. H. Weber, Volkmann u. A. müssen zwei leuchtende Linien oder Punkte auf dem gelben Fleck (des Listing'schen Auges) mindestens um 0,004 bis 0,002 M.M. abstehen, wenn sie nicht zu einer Empfindung zusammenfliessen wollen. Auf dem Seitentheile der Retina müssen sie dagegen weit mehr auseinander stehen und zwar um so weiter, je näher die getroffene Stelle der ora serrata sich nähert (Aubert).

Die Befähigung der Retina räumlich unterschiedene Theile eines Bildes der Empfindung gesondert zu übermitteln, findet man begründet in der Verbindung des Hirns und der Sehhaut durch die Nervenröhren, indem man voraussetzt, dass die Erregung eines

Nervenrohrs gesondert in die Empfindung übertragen werde und dort die Vorstellung eines nicht weiter zerlegbaren Raumes, die Raumeinheit der Empfindung, erwecke (E. H. Weber). Obwohl einer der wesentlichsten Gründe für diese Annahme beseitigt zu sein scheint, nämlich der gesonderte Verlauf des Nervenmarks vom Hirn, den Sitz der Empfindung, zum Sehhautende, da die Nerven, bevor sie zu letzterem gelangen, durch die Ganglienstrahlen in Verbindung treten können, so ist dieselbe, abgesehen von ihrer inneren Annehmbarkeit, doch immer noch höchst wahrscheinlich durch besondere Einrichtungen der Retina. a) Die Hypothese erläutert nämlich, warum die Centraltheile der Retina soviel scharfsehender sind, als die seitlichen. Da nämlich das Licht nur durch die Stäbchen und Zapfen hindurch das Nervenmark angreifen kann, so müssen die Retinalstellen, welche im Verhältniss zur Zahl vorhandener Cylinder die meisten Nervenröhren besitzen, auch die feinste Sonderung der Raumempfindung zulassen; denn es ist eine nothwendige Folgerung der obigen Hypothese, dass alle die Stäbchen, welche in ein Nervenrohr einmünden, auch nur durch eine Ortsverstellung im Hirn repräsentirt werden. Nun kommen aber der scharfsichtigen Gegend in der That die meisten Nervenröhren zu. — b) Die geringe Ausdehnung der scharfsichtigen Gegend um die Augenachse erlaubt es, diese als eine Ebene anzusehen, und daraus folgt, dass ebenen Objekten gemeotrisch ähnliche Bilder auf der Retina entsprechen können; somit ist eine andre Bedingung der obigen Annahme, die der räumlichen Analogie von Objekt und Empfindungsfläche erfüllt; diese Uebereinstimmung wird noch erhöht, weil c) die Stäbchen und Zapfen mit ihren Basen gegen die brechenden Medien stehen. Dieses Mosaik aus kleinen Empfindungseinheiten begünstigt die gesonderte Uebertragung kleiner Raumabschnitte in die Empfindung im hohen Grade, und zwar um so mehr, wenn die in einem Stab eindringenden Spitzen des Lichtkegels in jenem eingeschlossen bleiben, was nach der schon vorgebrachten Darstellung von Brücke der Fall sein muss. Unter Zuhilfenahme der letztern Einrichtung wirkt nämlich die Stäbchenschicht gerade so, als oben die empfindende Abtheilung der Retina eine Fläche von verschwindender Dicke darstellte. Besässen nämlich, wie dieses der Fall, die vom Licht erregbaren Netzhautantheile eine merkliche Dicke, und entbehrten ihre kleinsten Abtheilungen des Isolationsvermögen der Lichteindrücke, so würden die in einer solchen kleinsten Abtheilung zu einem Punkt vereinigten Strahlen

sich alsbald wieder ausbreiten und demnach auch die anliegenden Empfindungseinheiten treffen. — Wie diese Einrichtungen zu Gunsten der Vorstellung von E. H. Weber sprechen, so erhöhen sie, vorausgesetzt, die letztere sei richtig, auch die andre, dass die Stäbchen die Licht- in Nervenbewegung übersetzen (H. Müller).

Lässt man die so eben hervorgehobenen Beziehungen zwischen den Einrichtungen der Retina und der Schärfe des Sehens bestehen, so kann man mit Ad. Fick an der letztern noch die Deutlichkeit und die Genauigkeit unterscheiden. Die letztere würde um so grösser sein, je feiner die Gliederung der Sehhautfläche vermittelst der Empfindungseinheiten durchgeführt wäre, denn dann können um so mehr Objektstücke als räumlich gesonderte empfunden werden. Die Deutlichkeit würde aber ihr Maximum gewinnen, wenn die von einem unterscheidbaren Objektpunkt ausgehenden Strahlen in nur einem Empfindungselement der Retina zusammengebrochen würden, sodass ein jedes dieser letztern auch nur von einem Objektpunkt bestrahlt würde.

Man hat wiederholt darnach getrachtet, den eben angegebenen Messungen der Sehschärfe dadurch eine wissenschaftliche Grundlage zu geben, dass man mittelst derselben finden wollte, es sei das kleinste sichtbare Bild oder der kleinste sichtbare Zwischenraum zwischen zwei Bildern gerade so gross, als ein Stäbchen oder ein Zapfen. Dieses Bemühen scheint jedoch dem Prinzip nach nicht haltbar; einmal nicht, weil gar keine Nöthigung für die Annahme vorliegt, dass die Basis eines Stäbchens in ihrer ganzen Ausdehnung bestrahlt sein müsse, um genügend erregt zu werden, also kann das feinste noch sichtbare Bild viel kleiner sein, als die Grundfläche des Stäbchens (E. H. Weber). Und die andere Methode, die auf der feinsten Raumunterscheidung beruht, giebt nach der angedeuteten Richtung keinen Aufschluss, weil zwei Lichtpunkte auch dann noch gesondert zur Empfindung kommen könnten, wenn ihr Abstand nur den Werth der Zwischenschicht zwischen je zwei Stäbchen erreichte, also kann auch die Raumtrennung weit unter den Querdurchmesser eines Stäbchens herabgehen (Ad. Fick). Durch diese Einwendungen verliert die Methode von Weber natürlich nichts in ihrer Eigenschaft als proportionales Maass.

Die Schärfe des Sehens ist endlich abhängig von dem Grad der Aufmerksamkeit, welchen die Seele den von der Retina aufgenommenen Bildern zuwendet oder zuwenden kann. Aus tausendfältigen Erfahrungen jedes Menschen geht hervor, dass die Seele, nach in ihr wohnenden Bestimmungen, im Stande ist, von allen den Bildern, welche gleichzeitig auf die Retina fallen, nur das eine oder andere in den Kreis ihrer Betrachtung zu ziehen und dass es ihr leicht gelingt bald die von der visio indirecta, bald die von der visio directa ausgehenden Erregungen zu vernachlässigen, zum Vortheil derjenigen Primitivröhren auf die sie, um mit dem Kunst-

ausdruck zu reden, ihre Intention richtet. Da nun aber die Seele, aus Gründen, die im vorhergehenden enthalten sind, die genauesten Darstellungen der äusseren Gegenstände durch die Bilder empfängt, welche auf dem gelben Fleck entworfen sind, so richtet sie meist ihre Aufmerksamkeit nur auf diesen, und bei vielen Menschen so ausschliesslich, dass sie in den seitlichen Regionen der Retina sehr mangelhaft oder gar nicht orientirt sind. — An einem spätern Orte wird uns die für das vorliegende Thema wichtige Frage beschäftigen, ob die Grösse der Flächen, resp. die Zahl der Nervenprimitivröhren, auf welche die Seele innerhalb der Retina gleichzeitig ihre Intention richten kann, begrenzt oder unbegrenzt ist, und ob sich die Grenzen der gleichzeitigen Intention bestimmen lassen.

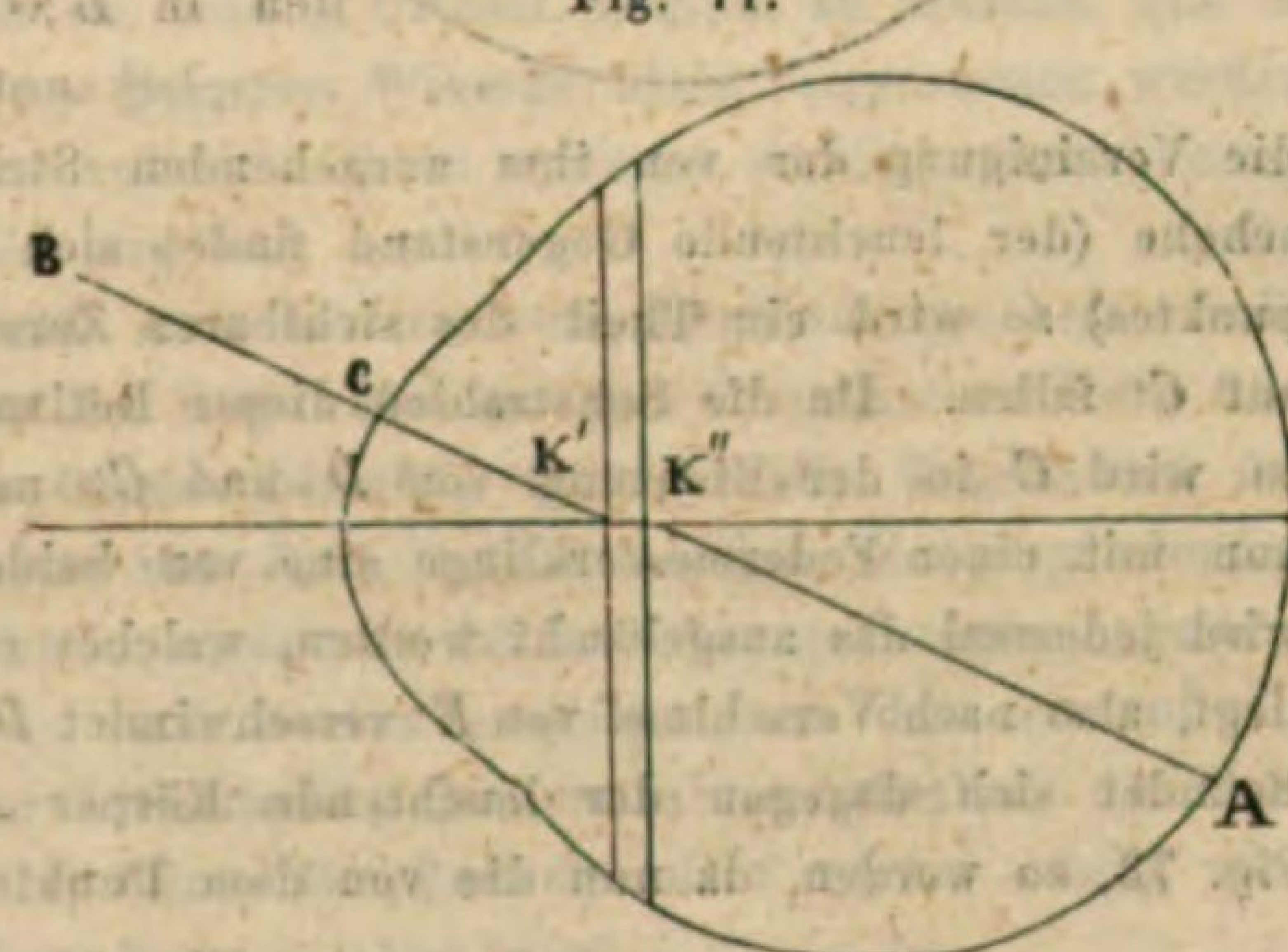
3. Sehen der Gegenstände im Raume. Der Physiologe steht von der vorerst noch metaphysischen Untersuchung ab, wie die Seele mittelst des Gesichtssinnes die Vorstellung des Raumes gewinne; indem er aber diese Vorstellung als einmal vorhanden annimmt, betrachtet er die Zustände des Sehorgans, welche mit besondern Raumvorstellungen Hand in Hand gehen, und diejenigen, welche er mit grösserer oder geringerer Sicherheit als bestimmende Elemente des Urtheils für das Lagenverhältniss eines leuchtenden Punktes zu seinen Nachbarn und für die Ausdehnung des Lichtes ansehen kann.

Die erste wichtige Thatsache, welche uns beim Eindringen in den vorliegenden Gegenstand entgegentritt, ist, dass die vom Sehnerven auf die Seele geschehenden Erregungen nicht als Zustände irgend eines Theiles dieses Nerven aufgefasst werden, obgleich er doch offenbar die nächste Ursache der Empfindung enthält, sondern dass der Mensch den Grund der Seelenerregung in den Weltenraum, jenseits der Grenzen seines Sehorgans setzt. Die Annahme, dass der Grund des Sehens ausserhalb der brechenden Medien des Auges gelegen sei, macht die Seele nicht nur für die Erregungen des Sehnerven durch die Aetherschwingungen, sondern auch für Lichtbilder, welche ihre Entstehung einem Druck auf den Sehnerven oder seine Ausbreitung verdanken: dieses letztere Resultat wird doppelt auffallend, wenn wir mittelst des Drucks noch zugleich ein die Oertlichkeit bestimmendes Gefühl durch den Tastsinn erhalten, wie es geschieht, wenn wir seitlich auf den Augapfel den Finger legen, wo wir den kreisförmigen Druck in den Tastnerven auf der Oberfläche des Auges fühlen und ausserhalb desselben, in Folge

der gepressten Retina, den drückenden Finger als Lichtring sehen. Dieses Nachaussensetzen der Lichtempfindungen geschieht nun aber nicht willkürlich und ordnungslos, in Beziehung auf die Ausbreitung des Sehnerven und des Sehorgans überhaupt, sondern soweit bekannt nach folgenden Regeln:

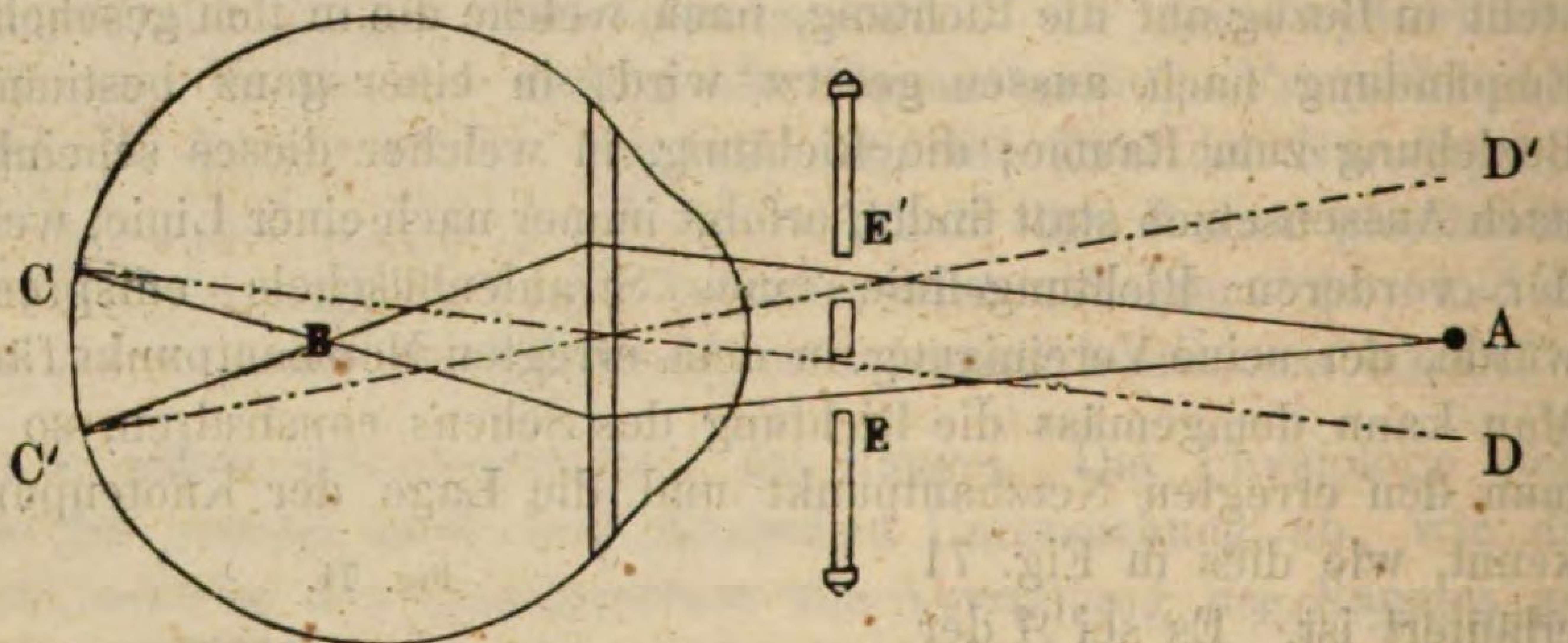
a) Richtung des Sehens. Jeder empfindende Punkt der Retina steht in Bezug auf die Richtung, nach welche die in ihm geschehene Empfindung nach aussen gesetzt wird, in einer ganz bestimmten Beziehung zum Raume; die Richtung, in welcher dieses scheinbare nach Aussensetzen statt findet, erfolgt immer nach einer Linie, welche der vorderen Richtungslinie eines Strahlenbüschels entsprechen würde, der seine Vereinigung in dem erregten Netzhautpunkt fände. Man kann demgemäss die Richtung des Sehens construiren, so wie man den erregten Netzhautpunkt und die Lage der Knotenpunkte kennt, wie dies in Fig. 71 erläutert ist. Es sei A der erregte Netzhautpunkt, K'' der hintere, K' der vordere Knotenpunkt, so wird AK'' die hintere Richtungslinie und BK' die vordere Richtungslinie eines in jeder beliebigen Stelle der Linie BC liegenden leuchtenden Punktes sein, dessen divergirende Strahlen in A zur Vereinigung kommen; BK' wird demnach die Richtung darstellen, in welcher der erregte Netzhautpunkt seine Empfindung in den Raum legt. Demgemäss werden sich die erregten Netzhautstellen und ihre scheinbare Lage im Raume derartig entsprechen, dass die auf der untersten Grenze der Netzhaut liegenden Theile am meisten nach oben, die auf der obersten Grenze liegenden am meisten nach unten, die auf der rechten liegenden am meisten nach links und die auf der linken liegenden am meisten nach rechts in den Raum versetzt werden. Da es nun für die Bestimmung des gesehenen Lichteindruckes ganz gleichgiltig ist, ob die Erregung von mechanischen, electrischen oder leuchtenden (im optischen Wortsinn) Mitteln ausgeht, so hat man vorgezogen, die Linie, durch welche die Sehrichtung angegeben wird, mit einem besondern Namen, dem Sehstrahl, zu bezeichnen.

Fig. 71.



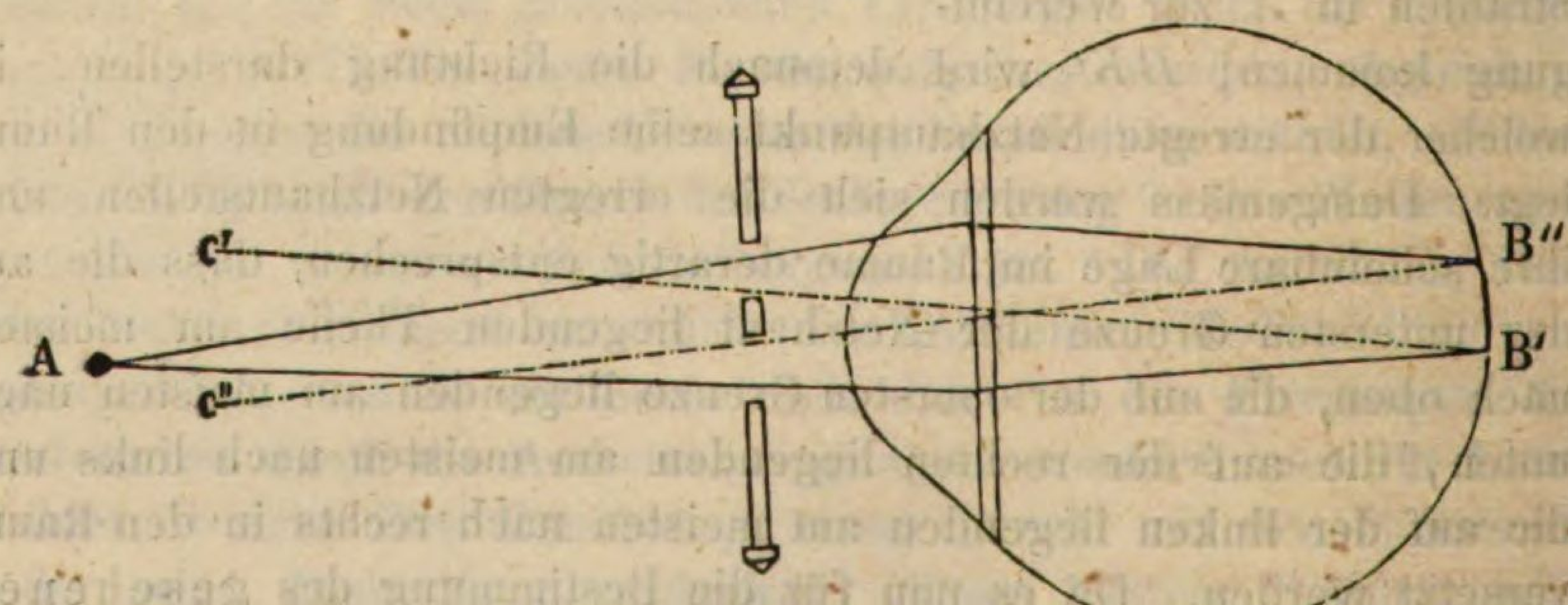
Die Beweise für die Richtigkeit der gegebenen Darstellung sind aus tausendfältigen Erfahrungen des menschlichen Sehens leicht zu geben. So zum Beispiel: Ein Fingerdruck auf den Seitentheil des Augapfels erscheint als Lichtring immer auf der entgegengesetzten Seite des Druckes *). Die Lagerung der Zerstreuungskreise im Scheiner'schen Versuch gibt ebenfalls ein bemerkenswerthes Beispiel. Es befinde sich vor dem Auge in Fig. 72 der leuchtende Punkt *A* dermaassen aufgestellt, dass

Fig. 72.



die Vereinigung der von ihm ausgehenden Strahlen in *B*, also vor der Retina geschehe (der leuchtende Gegenstand findet sich dann bekanntlich jenseits des Fernepunktes) so wird ein Theil des sichtbaren Zerstreuungskreises auf *C* und der andere auf *C'* fallen. Da die Sehstrahlen dieser Retinaorte dann *D' C'*, bezüglich *D C* sind, so wird *C* in der Richtung von *D* und *C'* nach *D* hin geschehen. Schliesst man nun mit einer Federmesserklinge eine von beiden Oeffnungen *E E'* des Schirms, so wird jedesmal das ausgelöscht werden, welches scheinbar auf derselben Seite im Raume liegt, also nach Verschluss von *E'* verschwindet *D'* und nach Verschluss von *E* das *D*. — Befindet sich dagegen der leuchtende Körper *A* diesseits des Nähepunktes, wie in Fig. 73, so werden, da nun die von dem Punkte *A* ausgehenden Strahlen erst jenseits

Fig. 73.



der Retina zur Vereinigung kommen, die Zerstreuungskreise auf *B''* und *B''* fallen und die ihnen entsprechenden Sehstrahlen sind *B' c'* und *B'' c''*. Deckt man jetzt

*) Hierbei erscheint jedesmal nach einer Bemerkung von E. Becher, auch an der Druckstelle eine schwache Lichtempfindung, die wahrscheinlich ihren Grund in der Erregung einer Netzhautpartie in der entgegengesetzten Seite hat, wohin sich der Druck fortpflanzt.

wiederum eine von beiden Oeffnungen, so wird nicht das gesehene Bild der entsprechenden Seite, sondern das entgegengesetzte ausgelöscht, wie es die Theorie verlangt. — Zu den Beispielen zählt ferner, dass man alle oberhalb der Sehachse gelegenen Gegenstände, welche ihr Bild unterhalb derselben auf der Retina projiziren, oberhalb sieht, woher das vielberufene Aufrechtsen des verkehrten Retinabildchens kömmt.

Zur Erläuterung dieser Erscheinungen und insbesondere des Nachaussensetzens der Lichtempfindung überhaupt, hat man hin und wieder der Annahme gehuldigt, als setze das Sehorgan während der Empfindung irgend etwas Concretes nach aussen. Die Unklarheit dieses Erklärungsversuches wird sogleich deutlich, wenn man fragt: was denn eigentlich nach aussen gesetzt werde; und wie ein auf die Seele geschehener Eindruck als etwas Aeusseres empfunden werden kann, wenn das Erregungsmittel neben einer von der Retina gegen das Hirn fortgepflanzten Wirkung noch eine zweite von der Retina gegen den Weltenraum dringende erzielt (Valentin Lehrb. II. p. 174). — Das Wort nach Aussensetzen ist nur ein bildlicher Ausdruck, um die Erscheinung zu bezeichnen, dass die Seele einen im Hirn vorhandenen Zustand seiner Ursache nach auf einen ausserhalb des Auges befindlichen Gegenstand bezieht. Der empirische Beweis für die Fähigkeit der Seele, eine irgendwie in ihr gebildete Sehvorstellung nach aussen zu setzen, liefert das allbekannte Beispiel der Träume. Welche Wege nun aber einzuschlagen sind, um ein solches Urtheil möglich zu machen, und es so zu befestigen, dass es trotz unseres besseren Wissens nicht umgestossen werden kann und wie das immer scheinbar unvermittelt, als in einfache sinnliche Anschauung auftritt, lässt sich nur vermuthungsweise angeben. —

Die Richtung, in welcher das nach Aussensetzen vom Auge aus geschehen soll, d. h. die Beziehung, welche zwischen der Lage der erregten Netzhautpartikeln und der scheinbaren Lage der Bilder im Raume besteht, ist ebenfalls Gegenstand der Controverse gewesen. Nach der Annahme von Joh. Müller sollen die empfindenden Punkte die Ursache ihrer Erregung nicht in einer mit der Sehachse gekreuzten, sondern in einer mit ihr gleichläufigen Richtung nach aussen projiziren, so dass ein auf die untern Abschnitte der Retina treffender Lichtstrahl, der von einem oberhalb der Sehachse liegenden Gegenstand kommt, in seiner Empfindung nicht wieder schräg nach oben, sondern gerade aus unten vor dem Auge gesehen wird.

Dem Einwurf, dass eine solche Projektion Verwirrungen im Sehen herbeiführen müsse, weil Alles am verkehrten Orte gesehen werde, begegnet Joh. Müller mit Recht dadurch, dass er darauf aufmerksam macht, wie der Begriff des Verkehrtsehens nicht entstehen könne, wenn eine Umkehr aller Theile in derselben Ordnung stattfinde, in der sie im Raume gelegen seien. Diese Hypothese ist demgemäss nicht absurd, sie ist aber nicht in Uebereinstimmung mit den Thatsachen. Denn nach ihr müsste die Lichterscheinung, welche wir mittelst eines Fingerdruckes auf das geschlossene Auge erzeugen, nicht in einer diametralen Richtung, sondern in gerader Richtung mit dem Drucke erscheinen; nun geschieht aber gerade das Umgekehrte, welches nichts anderes bedeutet, als dass wir alle von der unteren Hälfte der Retina her entstehenden Empfindungen nach oben u. s. w. setzen.

Der für die Seele unwiderleglich festgestellte Zusammenhang, welcher zwischen der Oertlichkeit der erregten Netzhautpartien und der Sehrichtungen besteht, weisst auf die Gegenwart eines feststehenden Mechanismus hin, durch den die Seele in ihrem Urtheil bestimmt wird. Man hat sich sehr bemüht, die besondere Natur

desselben zu errathen; unter den verschiedenen Versuchen hierzu trifft wahrscheinlich nur einer eines der vielen Elemente, die hier möglicher Weise in Betracht kommen. Wir meinen den Erklärungsversuch, welcher behauptet, dass auf die Bestimmung unseres Urtheils über die Lage der Gegenstände, die Bewegungen einiger dem Willen unterworfenen Muskeln einen wesentlichen Einfluss übten, indem uns durch dieselben in unbewusster Weise Aufschluss über die Lage der Retina gegeben würde. Wie genau wir in der That, ohne es zu wissen, durch die Bewegungen des Kopfes und der Augenmuskeln von der Lage unserer Retina unterrichtet sind, erfahren wir zu unserem Erstaunen, wenn wir uns ein längliches Nachbild, z. B. das einer Kerzenflamme, erzeugen und dann Bewegungen des Kopfes oder der Augen ausführen; in diesem Falle verändert sich die Lage des Nachbildes entsprechend der Lagenveränderung des Auges (Ruete); diese Thatsache bedeutet nichts Anderes als, dass wir eine gewisse Zahl von Punkten der Retina, welche wir in aufrechter Kopfstellung in einer senkrechten Linie gelagert glaubten, in horizontaler Kopflage für Theile einer horizontalen Linie ansehen. Daraus erklärt sich auch, warum ein vor das Auge gestelltes Objekt seine Lage bei den erwähnten Bewegungen nicht ändert, trotzdem dass während dieser letztern fortwährend andere Retinapunkte das Objekt aufnehmen, wie man sich überzeugt, wenn man sich ein senkrechtes lineares Nachbild erzeugt und dann einen senkrecht vor das Auge gestellten Stab fixirt; bei aufrechter Kopfstellung fallen Gegenstand und Nachbild der Richtung nach zusammen, bei seitlich geneigtem Kopf behält der Stab seine senkrechte Richtung, während sich das Nachbild mehr und mehr horizontal legt, so dass sich nun Stab und Nachbild kreuzen.

b) Sehen mit zwei Augen*).

α) Einfachsehen. Zugeordnete, identische Netzhautstellen. Da die verschiedenen Orte einer Retina als räumlich gesondert aufgefasst werden, so liegt es nahe anzunehmen, dass sich auch die Netzhäute beider Augen zueinander verhalten möchten, wie die verschiedenen Netzhautpartien desselben Auges. — Die nächste Folge dieser Annahme würde offenbar darin bestehen, dass jeder gleich-

*) Joh. Müller, Handbuch der Physiologie. II. Bd. — Wheatstone, Poggend. Annalen 1. Ergänzungsband. — Brücke, in Müller's Archiv 1841. p. 459. — Dove, Poggend. Annalen 71. Bd. — Regnault und Foucault in Valentin's Jahresbericht 1849 p. 177. — Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1854. — Rogers, Giesser Jahresbericht für 1855. p. 156.

zeitig in beiden Augen abgebildete Gegenstand als ein doppelter empfunden würde; dieses bestätigt sich aber keineswegs allgemein, da wir für gewöhnlich mit zwei Augen einfach sehen. — Der nächste Grund dieser Thatsache liegt darin, dass je zwei Orte der beiden Augen (von denen jedesmal der eine der rechten, der andere der linken Retina angehört) die Ursache ihrer Erregung in ein und demselben Orte des Raumes suchen, mit andern Worten, dass gewisse Stellen beider Augen dieselbe Ortsempfindung vermitteln. Solche Stellen zweier Augen, welche die Ursache ihrer Erregung in demselben Raumpunkte setzen, nennt Joh. Müller identische oder zugeordnete.

Man ist nun aber nicht stehen geblieben bei diesen fundamentalen von Joh. Müller entdeckten Thatsachen, sondern hat auch noch weiter zu ermitteln gesucht, durch welche Einrichtungen die Anwesenheit der identischen Netzhautpunkte bedingt sein möchte. Die zahlreichen Erklärungsversuche, die man bis dahin aufstellte, lassen sich unter zwei obersten Gesichtspunkten zusammenfassen. Die eine Reihe von Hypothesen setzt nämlich voraus, dass zwischen Retina und Empfindungsorganen des Hirns am Sehnerven anatomische Einrichtungen — z. B. in dem Chiasma nervor. optic. — vorhanden seien, vermöge welcher zwei von der Nervenausbreitung herdringende räumlich gesonderte Erregungen zu einer mittleren verschmolzen würden, die dann erst zur Empfindung kommen. Die andere Hypothesengruppe verwirft die Gegenwart einer solchen Hilfsvorrichtung und behauptet, dass die räumlich gesonderte Erregung auch gesondert bis zum Empfindungsorgan vordringe, um dort erst verschmolzen zu werden. Die Thatsachen erscheinen vorerst noch zu verwickelt, um schon jetzt für die eine oder andere Vorstellung benutzt werden zu können.

Die Beobachtungen, welche für die erstere der beiden Annahmen sprechen, bestehen darin, dass zwei Farben sich zur Mischfarbe vereinigen, wenn sie gesondert die identischen Netzhautstellen der beiden Augen treffen; Dove, Regnault. Dieser Versuch gelingt jedoch nicht immer; Dove gibt als eine der Bedingungen des Gelingens an, dass man prismatische Farben und keine Pigmente benutzen müsse. Für mein Auge gelingt er auch mit Pigmenten, indem mir die Empfindung des weissen entsteht, wenn ich mit dem einen Auge gelb und mit dem andern blau sehe. — Für die andere Meinung könnte man dagegen anführen, dass, wenn wir gleichzeitig vor jedes Auge eine Röhre halten, und durch diese beliebige aber verschieden gestaltete Gegenstände sehen, die beiden Bilder derselben als sich deckende in demselben Raume befindliche empfunden werden, so dass die identischen Netzhautstellen nur die Empfindung des gemeinsamen Ortes aber nicht des gemeinsamen Inhaltes (des mittlern Eindrucks aus den beiden gesonderten) angeben.

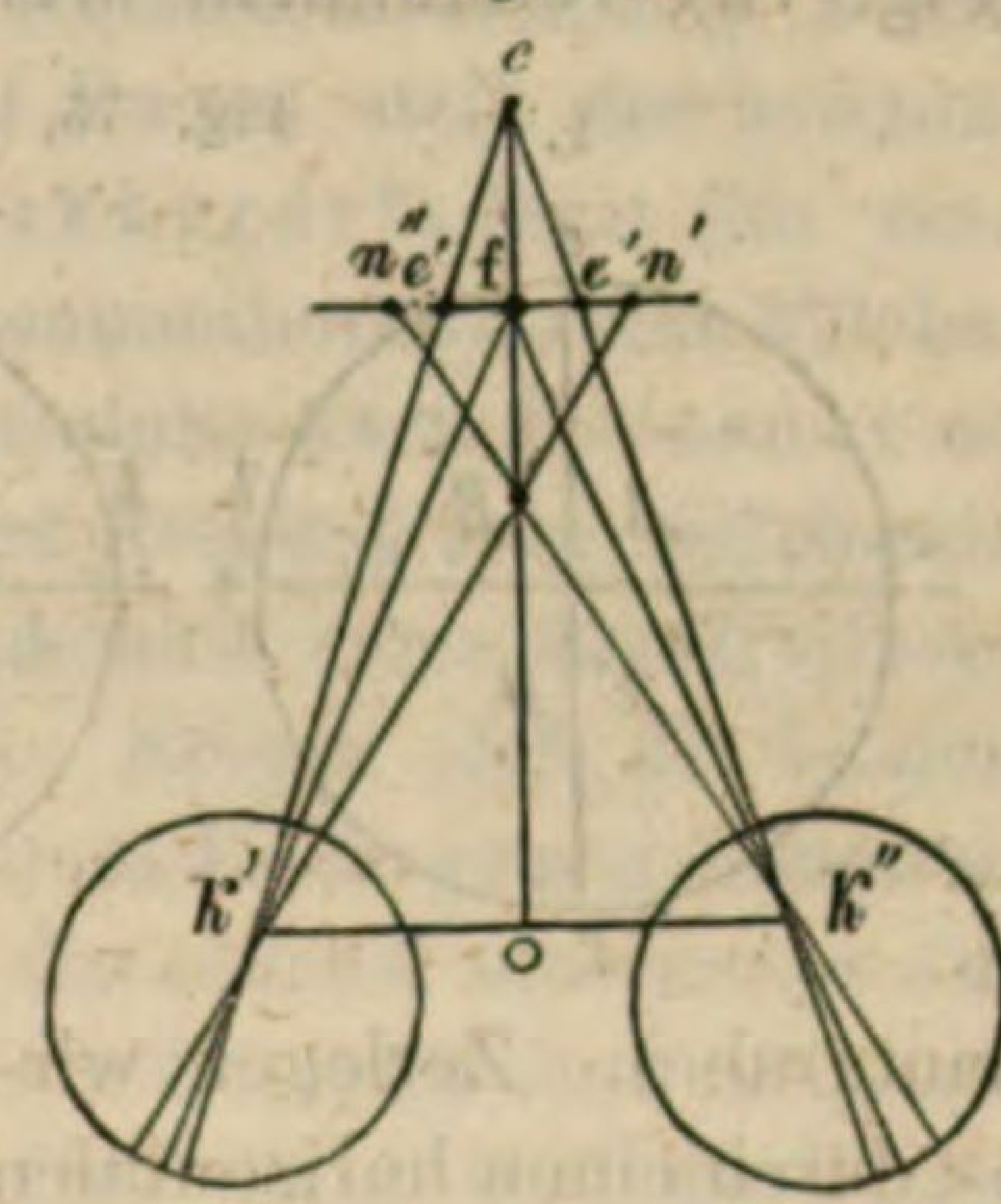
β) Doppeltsehen. Aus der Lehre von den zugeordneten Sehpunkten ergab sich nun mit Nothwendigkeit, dass ein und derselbe Gegenstand, welcher sein Bild auf nicht identische Stellen des Auges wirft, doppelt erscheinen muss. Dieses tritt nun in der That ein. Um das Doppeltsehen einfacher Gegenstände zu gewahren, stecke man sich auf ein Stäbchen in gerader Linie drei Nadeln in gegenseitigen Abständen von ungefähr einem Zoll und halte dasselbe innerhalb der Sehweite in die Mitte zwischen beide Augen horizontal und unter einem rechten Winkel gegen die Verbindungslinie beider Augenmittelpunkte. Stellt man nun die beiden Augenachsen so, dass sie sich auf der mittleren von den drei Nadeln gerade schneiden, und hält die Augen in dieser Stellung unverrücklich fest, während man seine Aufmerksamkeit auch auf die Bilder der andern Nadeln richtet, so werden diese augenblicklich in Doppelbildern empfunden.

Die drei Nadeln geben also fünf Bilder, welche sich wie die hier gezeichneten Punkte :·: gruppiren. Das mittlere dieser Bilder, welches von der Nadel erzeugt wird, die im Schnittpunkt beider Sehachsen liegt, gehört beiden Augen an. Von den Doppelbildern der nähern Nadel ist das rechte dem linken und das linke dem rechten Auge zugehörig, und umgekehrt von den Doppelbildern der entferntesten Nadel gehört das rechte zum rechten und das linke zum linken Auge. — Hiervon überzeugt man sich, wenn man bei unverrückten Augen eines derselben schliesst; es verschwinden dann sogleich zwei Bilder, und zwar in der Art, dass wenn man z. B. das rechte Auge deckt, unter den Doppelbildern der nächsten Nadel das entgegengesetztseitige, das linke, und unter denen der ferneren das gleichseitige, das rechte, ausfällt. Dieser Eigenschaft wegen nennt Meissner die Doppelbilder des nähern Punktes verkehrtseitige und die des entfernten rechtseitige. Die verkehrtseitigen bilden sich immer nach aussen von dem Ort des direkten Sehens, die rechtseitigen nach innen von demselben auf der Retina ab, wie eine einfache Construction nach Anleitung der Fig. 74 darthut.

Gebraucht man als Maass für die gegenseitige Entfernung der Doppelbilder die Grade, welche parallel mit der Verbindungslinie der Knotenpunkte beider Augen $(k' k'')$ durch den fixirten Punkt (f) zu der Richtungslinie der Doppelbilder gezogen wird, also für die Doppelbilder des entfernten Punktes $e' f e''$, und die des näheren $n' f n''$, so lassen sich daraus noch einige allgemeine Eigenschaften über die Doppelbilder ableiten, welche mit der Erfahrung überein-

stimmen (Meissner). Diese lauten: 1. Liegt der nähere Punkt *n* gerade so weit vor dem fixirten als der entferntere *e*, so stehen die Doppelbilder des ersteren weiter auseinander, als die des entfernteren. — 2. Den grössten Abstand, welchen zwei Doppelbilder eines jenseits des Fixationspunktes liegenden Objektes erlangen können, ist gleich dem Abstand der Knotenpunkte beider Augen von einander, denn für die Dreiecke $k' k'' e$ und $e' e e''$ gilt die Gleichung $\frac{k'\, k''}{e'\, e''} = \frac{o\, e}{f\, e}$ (a). Rückt nun f möglichst nahe an das Auge, e dagegen in beträchtliche Entfernung, so dass der Abstand $o\,f$ vernachlässigt werden kann gegen $f\,e$, so wird $\frac{o\, e}{f\, e} = 1$, denn beide Entfernungen sind unendlich gross. Für diesen Werth des letzten Gliedes der Gleichung (a) muss also $e'\, e'' = k'\, k''$ werden. — Für die Entfernung der Doppelbilder eines diesseits des Fixationspunkts gelegenen Objekts gibt es dagegen keinen Grenzwerth.

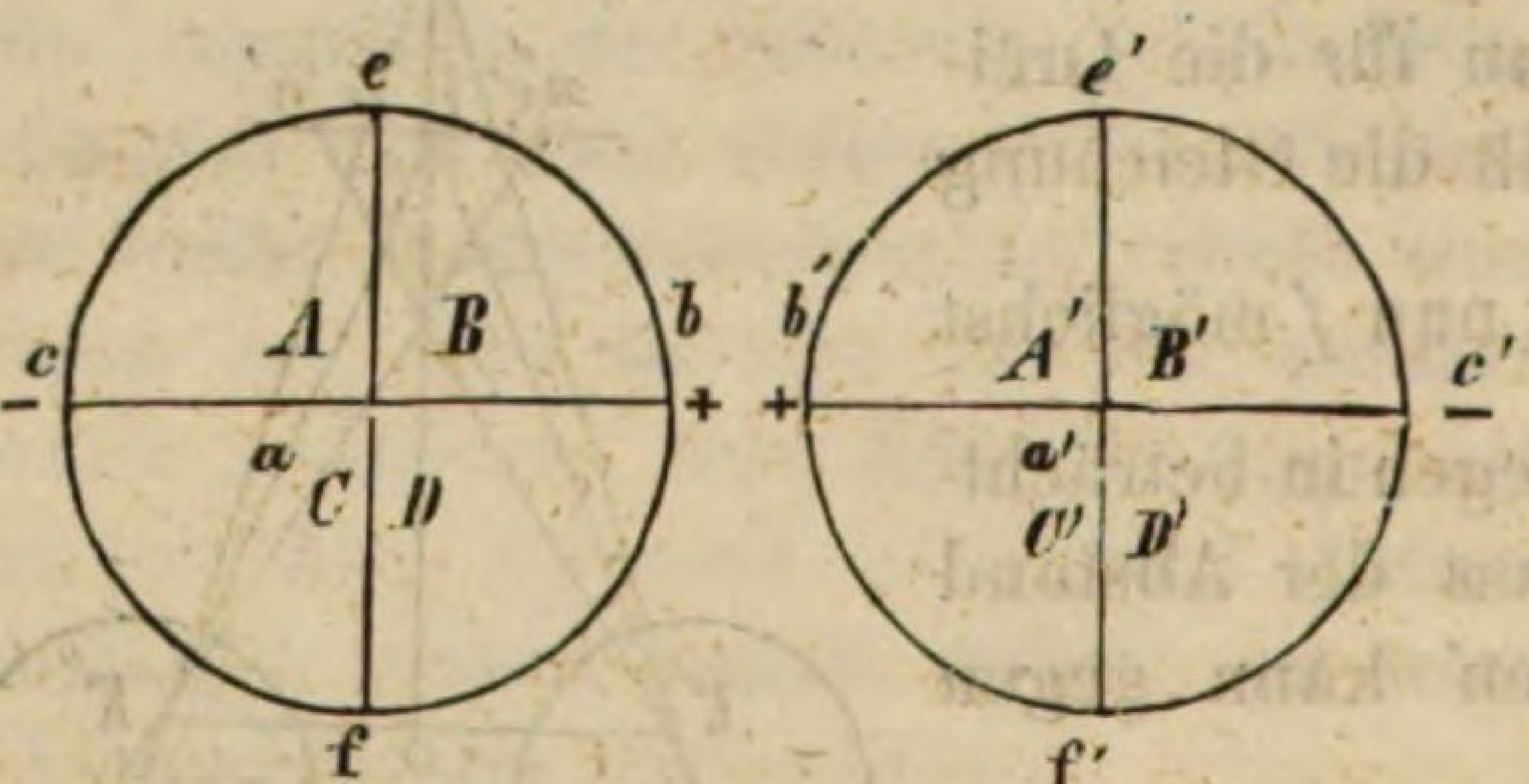
Fig. 74.



γ) Lage der zugeordneten Netzhautstellen, Horopter. Wenn die identischen Netzhautstellen, wie es von vorneherein wahrscheinlich, gegeben sind durch die ursprüngliche Anordnung der Netzhaut, und nicht nach Belieben oder Umständen durch Seelenwirkungen u. s. w. ausgewählt werden, so müssen uns alle nur einmal im Raum vorhandene Gegenstände, welche sich auf solchen Punkten der beiden Sehhäute abbilden, einfach erscheinen. Oder es müssen, wenn zwei verschiedene Raumpunkte auf zwei zugeordnete Stellen treffen, diese beiden verschiedenen in der Vorstellung in einen Ort zusammenfallen; oder endlich es muss ein im Raume einfacher Gegenstand in der Sehvorstellung doppelt erscheinen, wenn sein Bild gleichzeitig auf zwei, nicht identischen Stellen der beiden Sehhäute eintrifft. Diese Folgerungen bestätigen sich nun nicht allein, sondern sie geben auch Mittel an die Hand, um die zugeordneten Netzhautpunkte aufzufinden. Denn hierzu ist es nur nothwendig für eine Augenstellung den Horopter, d. h. diejenigen Punkte, Linien oder Flächen des Raums aufzusuchen, welche, obgleich sie gleichzeitig von beiden Augen scharf gesehen werden, dennoch einfach erscheinen. Denn wenn dieser bekannt ist, so geben uns

die Richtungslinien sogleich die Orte der beiden Sehhäute an, auf welchem jeder nur einmal vorhandene Punkt jener Linien oder Flächen abgebildet wird. Baum und Meissner, welche zuerst die hier einschlagenden Beobachtungen mit grosser Sorgfalt angestellt haben, bestätigen im Allgemeinen die Angaben von Müller, welche durch (Fig. 75) versinnlicht werden. Wir denken uns in derselben die beiden Sehhäute I u. II in ihrer natürlichen Lage dargestellt; ihre Centren $a\,a'$ versetzen wir an die Berührungspunkte der Sehlinie mit der Retina, (nach Helmholtz etwas nach oben und innen von der Netzhautgrube).

Fig. 75.

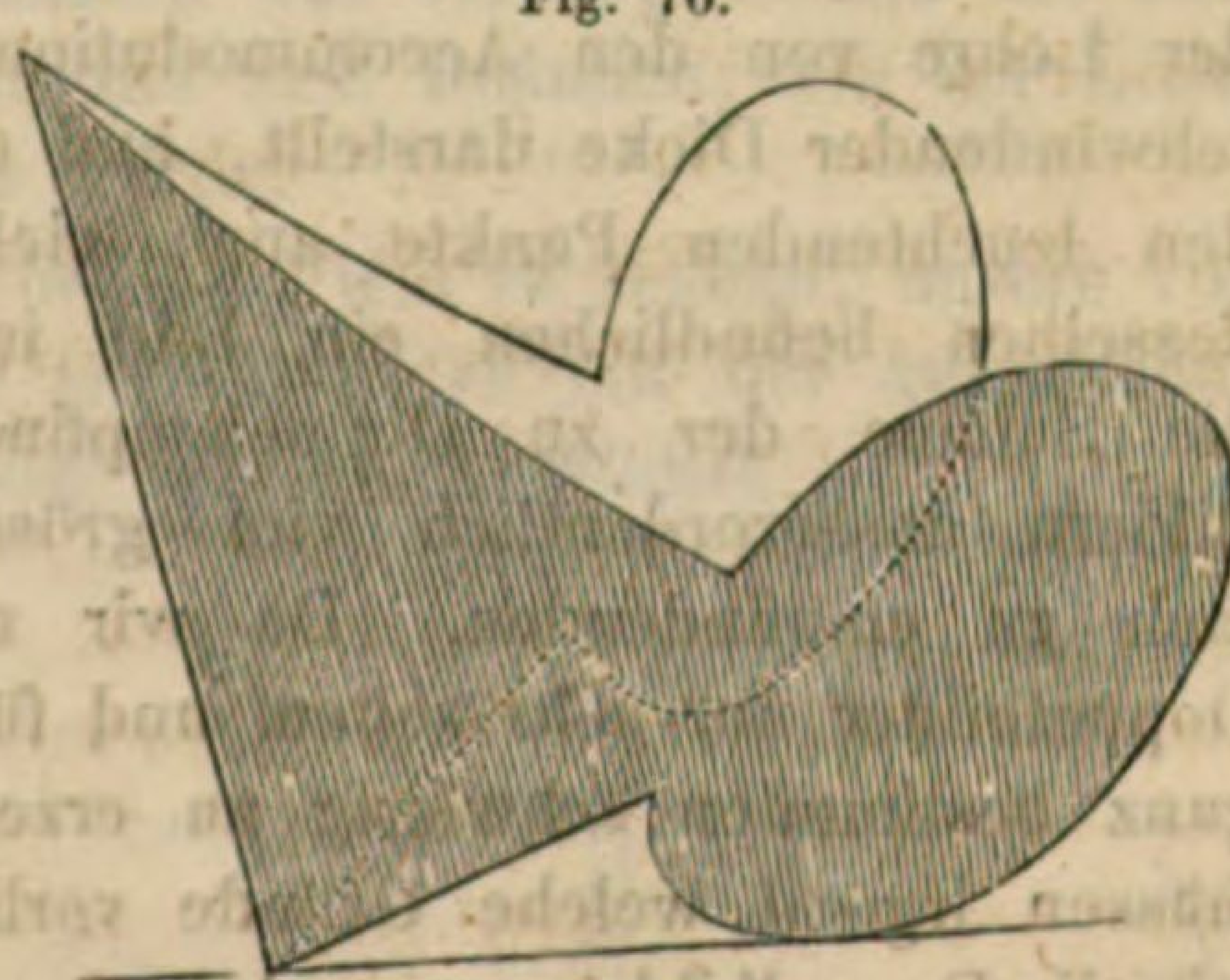


Zerlegen wir uns ferner jede hohlkugelförmige Retina $b\,c$ durch einen horizontalen $b'c$ und einen vertikalen $(e\,f\,e'f')$ Meridian (die vertikalen und horizontalen Trennungslinien von Rüte) in vier Viertheile $ABCD$ und $A'B'C'D'$, theilen wir dann jeden dieser Meridiane in Grade, und legen den Nullpunkt der Theilung in das Centrum, die positiven Grade des vertikalen Meridians nach oben $a\,e$, $a'\,e'$, die negativen nach unten $a\,f$, $a'\,f'$, auf den horizontalen Meridian aber die positiven nach innen $a\,b$ $a'\,b'$ und die negativen nach aussen $a\,c$ $a'c'$ vom Centrum, so lässt sich aussagen, es seien identisch 1. die Mittelpunkte, 2. die positiven Gradzahlen mit den gleichnamigen negativen des horizontalen und 3. die positiven mit den gleichnamigen positiven in dem vertikalen Meridian. Also ist im Allgemeinen indentisch der obere äussere Quadrant des rechten dem oberen inneren des linken, der untere innere des einen dem unteren äusseren des andern und umgekehrt, wie dieses die gleichnamigen Buchstaben in den Quadranten der beiden Augen angeben.

Lässt man diese Anordnung gelten, so wird nun auch alsbald die Gestalt des Horopters auszumitteln sein; der leichteren Uebersicht wegen bestimmen wir nur den horizontalen und vertikalen Horopter, d. h. den Antheil dieses letzteren, welcher vermöge der Anordnung der empfindenden Theile in der horizontalen und vertikalen Trennungslinie zu Stande kommt. — a) Die beiden vertikalen Trennungslinien sollen parallel stehend angenommen werden, dann muss der vertikale Horopter eine Linie sein, die senkrecht auf der Visirebene, d. h. auf der Ebene steht, in welcher die Seh-

linien der beiden Augen liegen; der horizontale Horopter muss in diesem Fall, der dadurch ausgezeichnet ist, dass die horizontalen Trennungslinien des einen Auges in der Verlängerung des andern liegen, eine Kreislinie sein, wenn die Sehhaut nach einem Kreis gebogen ist, sie wird dagegen eine gerade Linie oder irgend welche andre Curve sein können, wenn die Netzhautkrümmung keine Kugelschale darstellt. Bei Meissner und Baum stellt der horizontale Horopter eine gerade Linie dar, Burkhardt*) lässt ihn eine gekrümmte sein. Jedenfalls wird also der Gesammthoropter eine Fläche. Die soeben abgeleitete Gestalt nimmt der Horopter nach Meissner an beim Parallelismus der Sehachsen, mag ihre Neigung sein, welche sie wolle, und ferner bei 45° Neigung der Sehachsen unter den Horizont wie auch dieselben convergiren mögen. — Neigen sich die beiden Trennungslinien mit ihrem obern oder untern Ende gegen einander, so wird, wenn der Neigungswinkel gegen die absolut senkrechte für beide Meridiane gleich gross ist, der vertikale Horopter eine von vorn nach hinten geneigte grade Linie sein. Und zwar sind die obern Enden der beiden Trennungslinien einander näher, so wird auch das obere Ende der Horopterlinie dem Auge näher stehen, sind dagegen die untern Enden der Trennungslinien genährt, so wird das untere Ende der Horopterlinie näher zum Angesichtliegen; wie aus der Figur (76) bei einigem Nachdenken sogleich erhellt. — Beidemale werden aber die horizontalen Trennungslinien einen Winkel miteinander bilden, der in der erstern Lage seine Spitze nach unten, in der zweiten nach oben kehrt. Darum gibt es für sie in dieser Augenstellung keinen Horopter, und zwar desshalb nicht, weil die identischen, negativen und positiven Grade in entgegengesetztem Sinne von einander abweichen. Nach Meissner kommt die eben dargestellte lineare Form des Horopters zu Stande, wenn die Sehlinien ober- oder unterhalb der Neigung von 45° symmetrisch convergiren. Das obere Ende der Horopterlinien steht uns näher, wenn die Sehachsen unter, es steht uns ferner,

Fig. 76.



*) Fick's Jahresbericht für 1856. p. 13.

wenn sie über 45⁰ geneigt zusammenblicken. — c) Wenn endlich die vertikalen Trennungslinien nicht, wie bei der vorhergehenden Annahme, eine symmetrische, sondern eine assymmetrische Neigung besitzen, wie dieses beim Sehen seitlicher Gegenstände vorkommt, so sinkt der Horopter von einer Linie zum Punkt herab, indem nun unter allen identischen Orten nur noch die Centren der Sehhäute gleichzeitig von einem Raumpunkte Licht empfangen.

Um sich im Allgemeinen von der Richtigkeit der Angaben von Meissner zu überzeugen, genügt es einen feinen Stickdraht einige Centimeter von den Augen entfernt in verschiedene Stellungen zu bringen. — Will man dem Anfänger die schwierige Raumanschauung ersparen, welche nothwendig ist, um aus der Gestalt des Horopters auf die Lage der vertikalen und horizontalen Trennungslinie zu schliesen, so kann man zwei durch Parallelkreise und Meridiane getheilte Hohlkugeln aufstellen, in deren Centrum je ein nach allen Richtungen beweglicher Durchmesser angebracht ist; indem man mit dem beiden hintern Enden auf den identischen Graden hergeht, beschreiben die entgegengesetzten an ihren Durchschnittspunkten die Form des Horopters. — Die genaueren Mittel zur Beobachtung der Lage und Ausdehnung des Horopters, seine ziemlich verwickelten Aenderungen mit den successiven Aenderungen in den Convergenzen und Neigungen der Sehlinien, und endlich die genaue Berechnungsweise für die Stellung der Trennungslinien und der des Horopters sind in der Schrift von Meissner nachzusehen. Nach dieser gründlichen Arbeit hat die sinnreiche Methode v. J. Müller, die identischen Netzhautstellen durch einen auf die Augen angebrachten Druck zu ermittlen, nur noch historische Bedeutung.

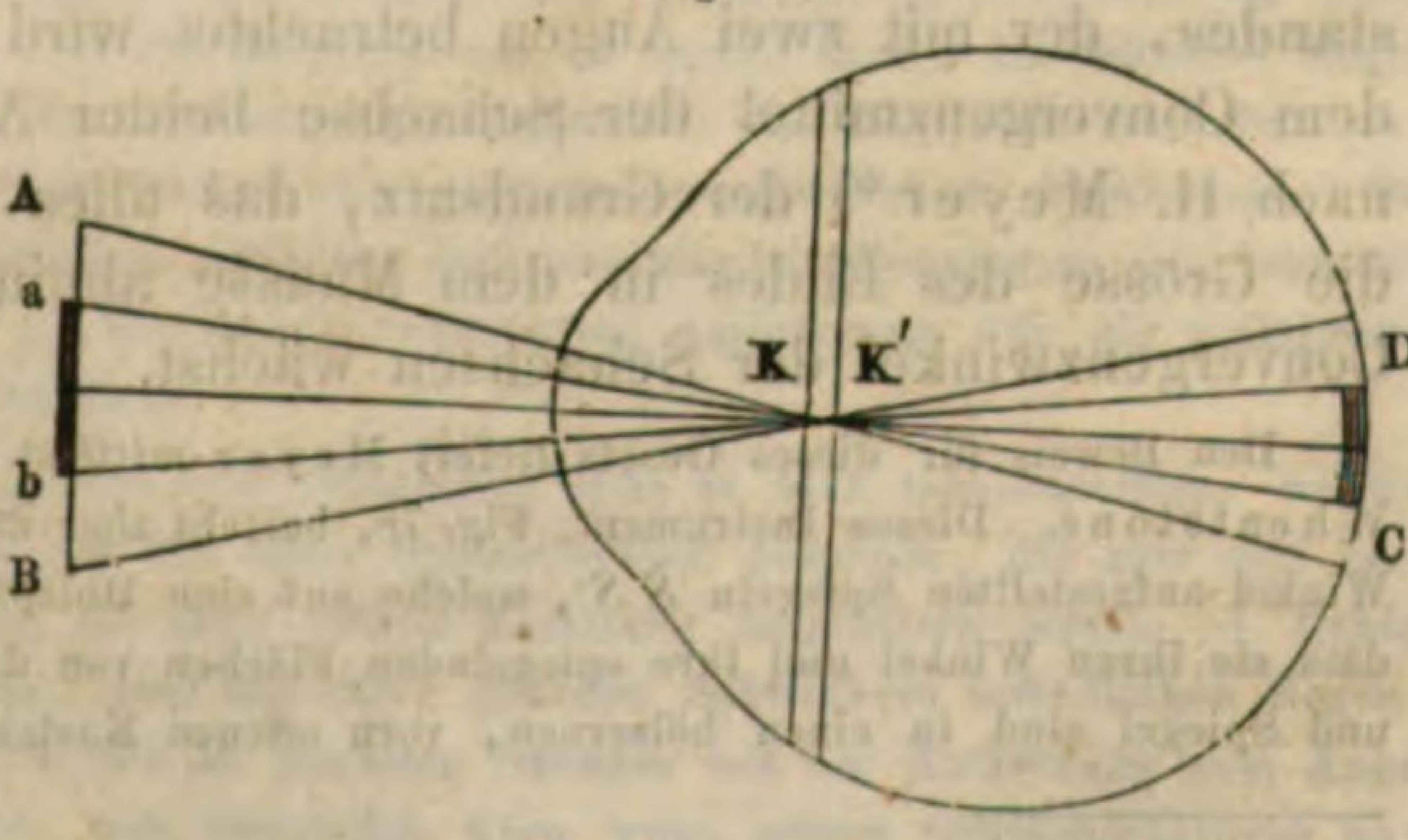
δ) Vernachlässigung der Doppelbilder. Da der Horopter bei einem grossen Convergenzwinkel der Sehachsen entsprechend der Lehre von den Accommodationslinien, ein Gebilde von verschwindender Dicke darstellt, und da ausser dem in ihm liegenden leuchtenden Punkte auch viele der jenseits und diesseits desselben befindlichen ein Bild im Auge entwerfen, so muss die Summe der zu Doppelempfindung Veranlassung gebenden Bildern ausserordentlich viel grösser sein, als die der einfach zu empfindenden. Da wir nun aber nachweisslich diese Doppelbilder nur sehr selten, und für das normale Auge nur unter ganz bestimmten schwierig zu erzeugenden Umständen sehen, so müssen irgend welche Gründe vorliegen, die es bedingen, dass wir die Doppelbilder ausser Acht lassen. Diese Gründe liegen nun wahrscheinlich darin, dass im Sehfeld der normalen Augen zu allen Zeiten Bilder vorhanden sind, welche zu einer einfachen Empfindung zusammengelegt werden können und dass die einfach empfundenen Bilder der Seele einen intensiveren Eindruck geben, als alle übrigen, die darum unsere Aufmerksamkeit (welche sich gleichzeitig nur auf beschränkte Stellen der Retina richten kann)

vor allen andern in Anspruch nehmen. — Die erste der angegebenen Bedingungen, dass in beide Augen immer Bilder fallen, welche einfach empfunden werden können, wird durch die schon früher erwähnte bestimmte Verkettung der Augenmuskeln erzielt, in Folge deren die Augen stets eine solche Stellung erhalten, dass sich die Sehachsen in einem vor den Augen gelegenen Punkt schneiden. Unter dieser Voraussetzung müssen selbstverständlich die im Durchschnittspunkt beider Sehachsen liegenden Gegenstände ihre Bilder auf den identischen Netzhautmittelpunkt senden. Diese hier entworfenen Bilder wirken aber intensiver als alle übrigen, weil sie erstens auf die empfindlichste Netzhautstelle treffen und dann, weil auf diesem Wege die Seele denselben Eindruck doppelt empfängt und weil endlich nach einem bemerkenswerthen Zusammenhang, der zwischen dem Accommodationsapparat und den Augenmuskeln besteht, der optische Apparat des Auges unwillkürlich gerade für die Entfernung eingestellt ist, in welcher sich die Sehachsen schneiden.

c) Grösse eines gesehenen Gegenstandes. Die Grösse eines Gegenstandes, d. h. seine scheinbare Ausdehnung nach Höhe und Breite, schätzen wir nachweisslich unter Beihilfe mehrerer Elemente, und namentlich: nach der Ausdehnung, welche das Bild des Gegenstandes auf der Retina einnimmt; und nach dem Grade von Zusammenziehung, in welcher sich die Muskeln des dioptrischen Einrichtungsapparates und die Muskeln des bulbus, welche die Sehachsenconvergenz bedingen, zu der Zeit befinden, als der Lichteindruck des Bildes empfunden wurde.

Alles andere gleichgesetzt wächst, wie es scheint, unsere Vorstellung von der Grösse eines Gegenstandes mit der Ausdehnung seines Bildes auf der Retina oder seinem Sehwinkel.

Fig. 77.



Der Winkel *AKB* oder *DK' C*, Fig. 77, welchen die vordern (*AK*, *BK*) oder hintern (*DK'*, *CK'*) Richtungsstrahlen der Grenzpunkte *A* und *B* eines scharf gesehenen Gegenstandes *AB* an den Knotenpunkten einschliessen, heisst bekanntlich der Sehwinkel. Dieser Sehwinkel gibt, wie wir schon sahen, ein genaues Maass für die Grösse des auf der Retina entworfenen Bildes, weil die Entfernung der Knotenpunkte

von der ersteren eine constante bleibt. — Die obigen Angaben, dass ein Gegenstand in unserm Urtheil wie der Sehwinkel wachse, bedürfen keiner Erläuterung, da es jedem bekannt ist, dass wenn er zwei Gegenstände, wie *AB* und *ab* in der Fig. 77, im Raume aufeinanderlegt, der kleinere $^1/_2$, $^1/_4$ u. s. w. mal so gross, als der grössere erscheinen wird, wenn sein Sehwinkel *a' K' b'* $^1/_4$, $^1/_2$ u. s. w. mal so gross ist.

Der physiologische Grund dieses Urtheils kann nur darin liegen, dass die durch die Retina gehenden Eindrücke von der Seele als eine Summe von Empfindungseinheiten aufgefasst werden, so dass die Seele die Ausbreitung des Bildes direkt durch die Grösse dieser Summe misst. Nehmen wir an, es sei die Maasseinheit die Empfindung, welche eine Primitivröhre in das Hirn sendet, so würde die Vorstellung von der Grösse eines Bildes wachsen mit der Summe der Primitivröhren, welche von demselben erregt wurden.

Alles Andere gleichgesetzt und namentlich den Sehwinkel und die Convergenz unserer Augenachsen, verkleinert sich in unserem Urtheil ein Bild mit wachsender Einrichtung unseres Auges für die Nähe. Den scharfen Beweis für diese Behauptung liefert ein schon seit lange bekannter Versuch: man erzeuge sich das Nachbild einer Kerzenflamme und betrachte dieses mit einem Auge, bald während man das Auge zum Sehen in die Ferne einrichtet (d. h. während man z. B. auf die entfernte Wand des Zimmers sieht) und bald während man für die Nähe accommodirt hat. Dieses Bild wird, wenn man vom fernen zum nahen Sehen übergeht, trotzdem dass es immer denselben Raum auf der Retina einnimmt, um ein sehr beträchtliches an Grösse abzunehmen scheinen.

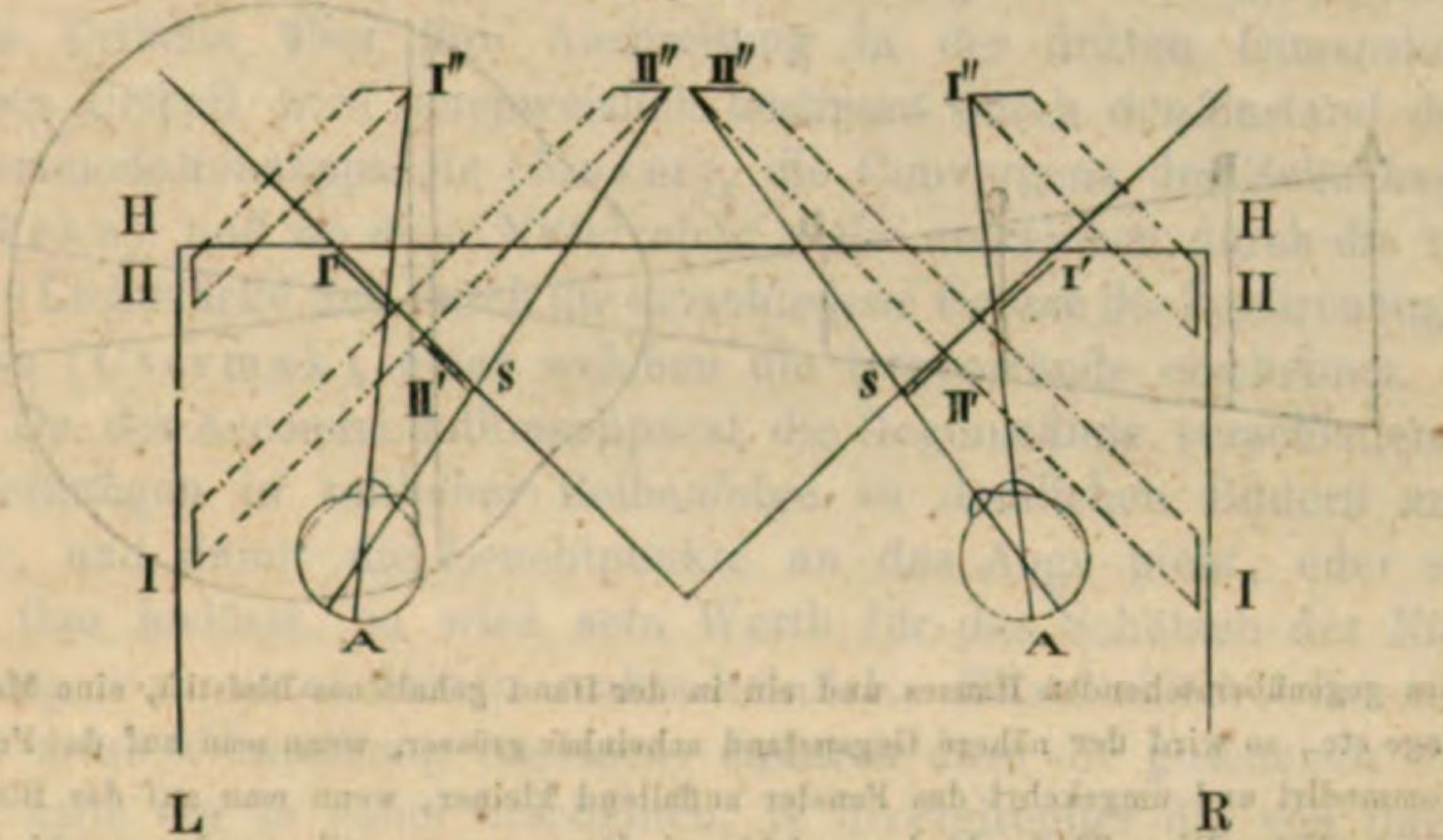
Die bis dahin erwähnten Elemente machen sich geltend, beim Sehen mit einem und mit zwei Augen; hierzu kommt nun aber noch ein weiteres, welches vorzugsweise beim Binocularsehen sich einflussreich erweist. Unser Urtheil über die Grösse eines Gegenstandes, der mit zwei Augen betrachtet wird, hängt auch ab von dem Convergenzmittel der Sehachse beider Augen; und zwar gilt nach H. Meyer*) der Grundsatz, das alles Andere gleichgesetzt, die Grösse des Bildes in dem Maasse abnimmt, in welchem der Convergenzwinkel der Sehachsen wächst.

Den Beweis für dieses Gesetz liefert Meyer mittelst des Spiegelstereoskopes von Wheatstone. Dieses Instrument, Fig. 78, besteht aber aus zwei unter einem rechten Winkel aufgestellten Spiegeln *S S'*, welche auf eine Holzplatte *H H* so befestigt sind, dass sie ihren Winkel und ihre spiegelnden Flächen von der Platte abwenden. Platte und Spiegel sind in einen hölzernen, vorn offenen Kasten eingefügt, dessen Seiten-

*) Ueber die Schätzung der Grösse u. s. w. Poggend. Ann. 85. Bd. 198.

breter *HL*,, *HR* um den Abstand deutlicher Sehweite von den Spiegeln entfernt stehen. Fügt man auf das Bret *HR* die perspektivische Ansicht eines Gegenstandes, wie sie sich für das rechte Auge darstellt, und auf das Bret *HL* eine gleiche für das

Fig. 78.

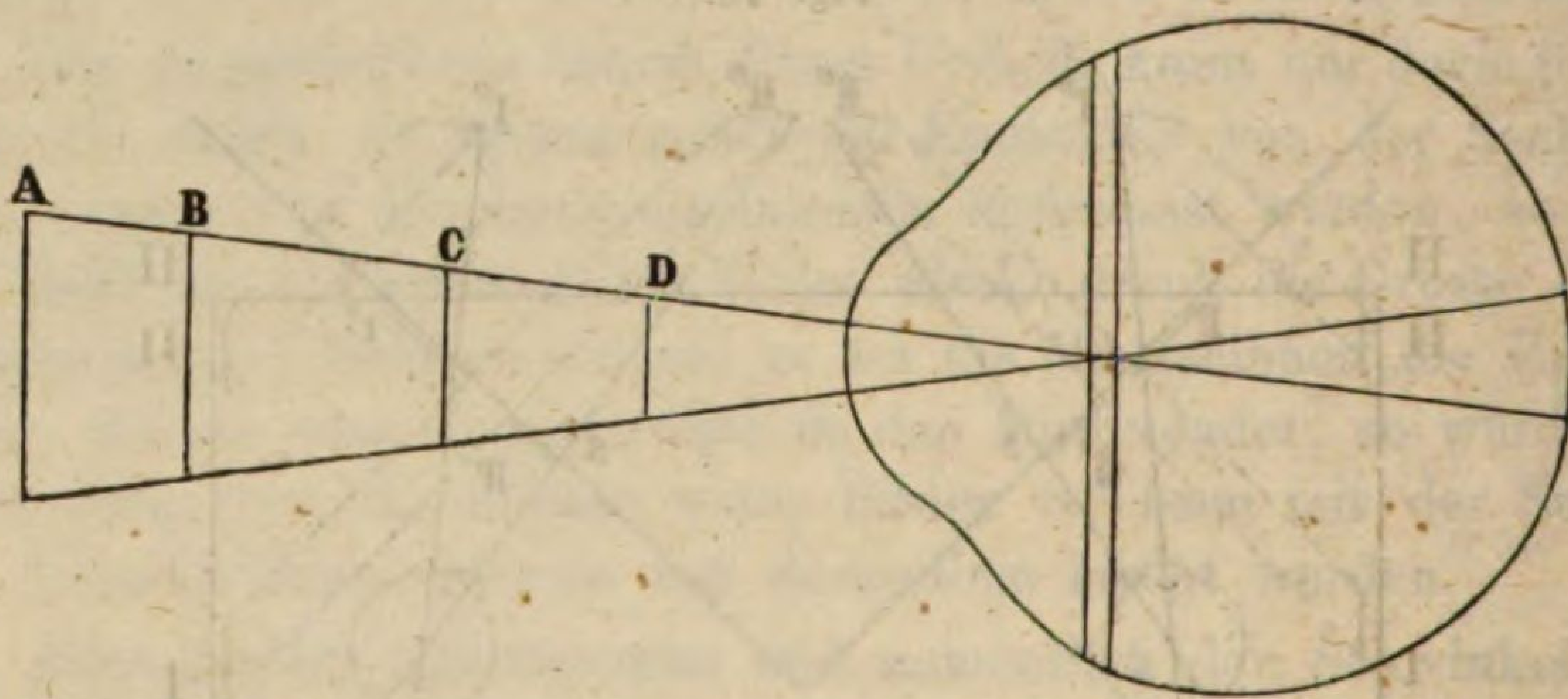


linke Auge, und hält darauf die Augen *A*, *A* in gezeichneter Weise vor die Spiegel, so vereinigen sich beide Bilder zu einem einzigen von stark perspektivischer Wirkung in dem Augenblick, in welchem sich die identischen Netzhautstellen auf die zusammengehörigen Punkte der Figuren einstellen. — Gesetzt nun, wir hätten an die Seitenbretter die Zeichnungen *I*, *I* angeheftet, so werden seine Spiegelbilder in *I''*, *I''* erscheinen; d. h. die von ihnen ausgehenden Strahlenbüschel werden divergiren, als kämen sie von dem Punkte *I'' I''* (die punktirten Linien geben die bekannte katoptrische Construktion für die Lage von *I''* und *I'*). Um den innern Punkt von *I* einfach zu sehen, müssen wir die Sehachse in die Richtungen *AI''* stellen. Verrücken wir nun dieselben Zeichnungen nach *II'' II*, so werden die Spiegelbilder scheinbar in *II'' II''* auftreten. Um nun jeden der inneren Punkte des Gegenstandes einfach zu sehen, müssen sich die Augenachsen nach *A II''* stellen, also unter einem beträchtlich grösseren Winkel als vorher convergiren. Indem man diese Verschiebung ausführt, entfernt sich das Bild, wie die Zeichnung angibt, um ein Geringes und es müsste darum der früheren Regel nach wegen des Einflusses des Accommodationsapparates das Bild sich scheinbar vergrössern. In Wahrheit aber scheint es sich ganz ausserordentlich zu verkleinern. Da alle übrigen Umstände unverändert geblieben sind und nur die Convergenz der Sehachse wechselte, so können wir als Grund der veränderten Anschauung nur die gesteigerte Convergenz der Sehachsen ansehen.

Ausser den bisher mitgetheilten Thatsachen gibt es noch tausendfältige, welche den Einfluss der drei Elemente auf unser Grössenurtheil beweisen, die aber erst verstanden werden, wenn man sie nach obiger Anleitung zergliedern lernte. — Dahin gehört gleich die Erfahrung, dass die unter gleichen Sehwinkeln befindlichen Gegenstände *A*, *B*, *C*, *D*, Fig. 79, bis zu gewissen Grenzen mit der Entfernung vom Auge sich fortwährend vergrössern, was unmöglich wäre, wenn unsere Grössenschätzung nur vom Sehwinkel abhängig wäre. Da die Zunahme der Vergrösserung auch noch über

die Grenzen der Sehweite geschieht, so muss offenbar neben dem Einrichtungsapparat noch ein anderes Element wirken. — Vergleicht man ferner die Grösse zweier in bebeträchtlichen Entfernungen von einander gehaltenen Gegenstände, z. B. die Fenster

Fig. 79.



eines gegenüberstehenden Hauses und ein in der Hand gehaltenes Bleistift, eine Messerklinge etc., so wird der nähere Gegenstand scheinbar grösser, wenn man auf das Fenster accommodirt und umgekehrt das Fenster auffallend kleiner, wenn man auf das Bleistift accommodirt. Diese Thatsache kann nicht, wie Heermann will, aus der verschiedenen Grösse der Bilder auf der Retina bei Enstellung auf Nähe oder Ferne abgeleitet werden, da im ersten Fall allerdings das scheinbare Grösserwerden des nähern Gegenstandes mit seinem Erscheinen im Zerstreuungsbilde auf der Retina, also mit einer wirklichen Vergrösserung zusammenfällt, im zweiten Falle dagegen die scheinbare Verkleinerung des ferneren Gegenstandes ebenfalls mit einer wirklichen Vergrösserung des Retinabildes zusammentrifft. Eine Erläuterung darüber zu geben, wie diese drei Elemente zusammenwirken, und vermittelst welchen Mechanismus sie auf die Seele wirken, ist unmöglich. Aufmerksamkeit verdient aber der Umstand, dass die durch diese Elemente gegebene Grundlage der Vorstellung durch keine Erinnerung oder anderweitige bessere Ueberzeugung verdrängt oder bewältigt werden kann; obwohl der Physiologe weiss, dass ein auf der Retina vorhandenes Nachbild durch eine Accommodation der optischen Apparate auf verschiedenen Fernen in seiner Grösse nicht verändert werden kann, so sieht er es sich doch mit den Accommodationsbewegungen verändern.

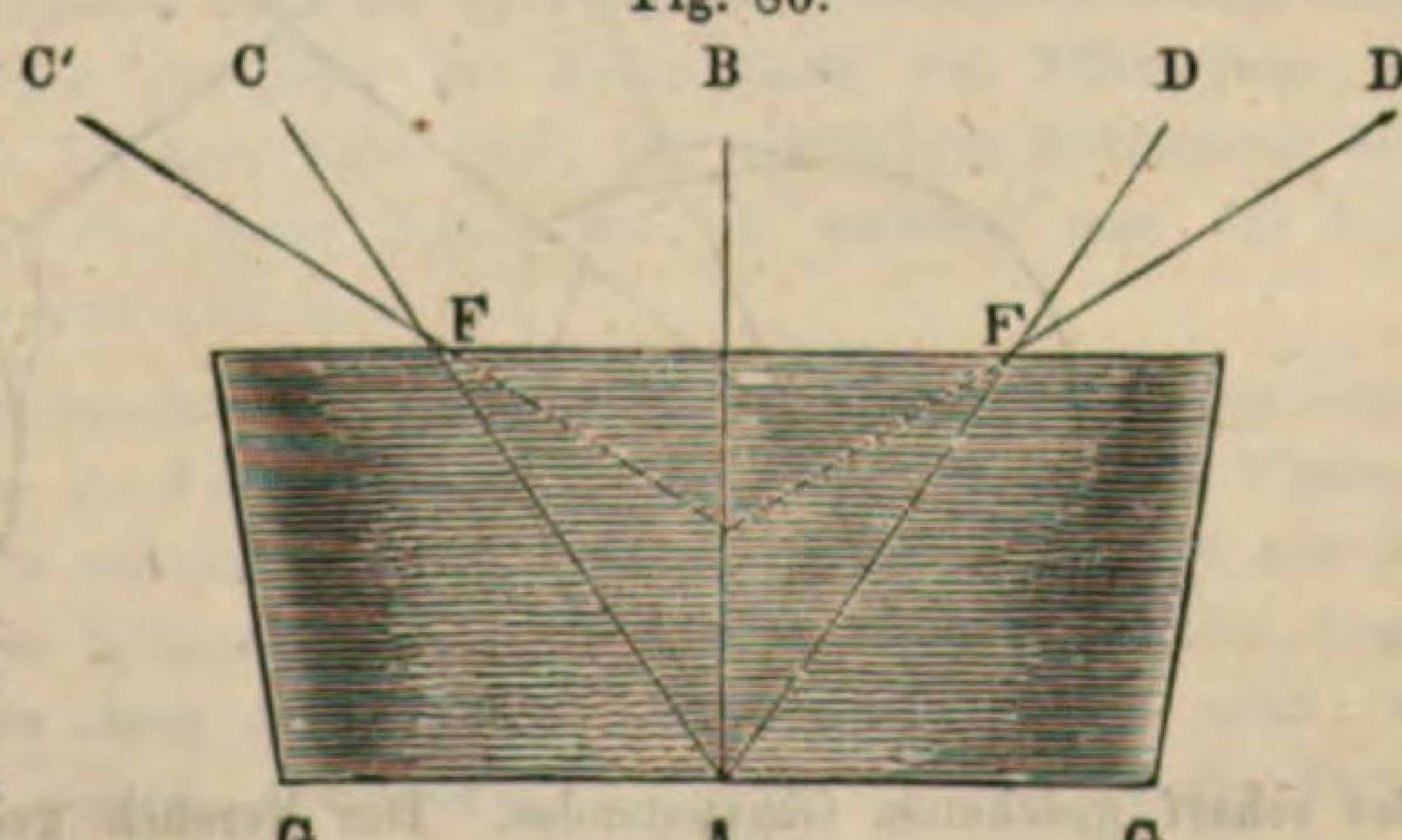
Im Text sind nur die einfachsten Arten der Grössenbestimmung erwähnt; es gibt aber in der That auch andere, complizirtere, welche zu einer gründlichen Zergliederung noch nicht reif sind. Dahin gehört die Vorstellung, welche wir von der Grösse eines Gegenstandes erhalten, indem wir das Auge über denselben hinführen. Ob wir in diesem Falle die Zahl der differenten Eindrücke summiren, oder ob wir nach der Muskelbewegung die Grösse des Winkels, den wir am Drehpunkt des Auges beschreiben, schätzen und dergl., ist vollkommen unklar; darum lässt sich auch die von Listing angeregte Controverse, ob derselbe Gegenstand bei direktem Sehen (d. h. bei Ueberführung der Sehachse über denselben) kleiner erscheine, als bei indirektem, theoretischer Seits nicht erledigen, wenn auch erwiesen ist, dass derselbe Gegenstand im indirekten Sehen einen grösseren Sehwinkel besass, als im direkten. Ferner gehört hierher auch die verschiedene Grössenvorstellung, welche wir erhalten, wenn wir einen

Gegenstand wechselnd bald mit einem und dann mit zwei Augen fixiren. Endlich siehe weiteres bei Dove *).

d) Ausbreitung eines Bildes in die Tiefe, Anschauung des Körperlichen und der Entfernung. Zur Vollendung unserer Vorstellungen über das Sehen der Gegenstände im Raume, gehört noch die Bildung eines Urtheils über ihre Ausbreitung in der dritten Dimension. Dieses Urtheil wird nachweislich bestimmt durch den Zustand des Accommodationsapparats (Moser), die Convergenz der Sehachsen (Brücke), und wo diese Mittel nicht mehr ausreichen, durch die relative Lichtstärke und durch die verschiedene Grösse der Zerstreuungskreise (Czermak), unter welchen die Gegenstände erscheinen.

Da der Accommodationsapparat die Gegenstände verschiedener Entfernungen in zeitlicher Reihenfolge zu deutlichen Bildern umsetzt, und damit die Leuchtpunkte an das Auge zieht, oder sie von ihm loslösst, so wird sein Werth für das Schätzen der Entfernung von vorne herein wahrscheinlich. Thatsächlich wird nun auch diese Vermuthung erwiesen: dadurch dass die gesehenen Gegenstände um so näher erscheinen, je divergirender die von ihren leuchtenden Punkten ausgehenden Strahlen in das Auge fallen. Wenn darum ein Gegenstand auch seine Lage unveränderlich im Raume bewahrt, so wird er dennoch sich von dem Auge zu entfernen scheinen, wenn zwischen ihn und das Auge optische Mittel eingeschoben werden, durch welche der Convergenzwinkel seiner Strahlen eine Verminderung erfährt. Mit Rücksicht auf die Einrichtungswerkzeuge ausgedrückt bedeutet dieses: die auf unserer Sehhaut abgebildeten Gegenstände erscheinen uns um so näher, je grössere Anstrengungen die Muskeln des Einrichtungsapparates unternehmen mussten, um das Bild deutlich zu entwerfen.

Fig. 80.



Als eines der bekanntesten Beispiele für diese Angaben kann es dienen, dass ein Körper, welcher auf dem Boden eines leeren Glases liegt, gehoben erscheint, nachdem man das Glas mit Wasser füllte. Als sich nur Luft über dem leuchtenden Punkte *A*, Fig. 80, der auf dem Boden des Gefässes *GG* gelegen ist, vorfand, schickte er z. B. drei beliebige Strahlen *AC*, *AB*, *AD* unter dem Winkel *CAD* aus, welche, wie wir

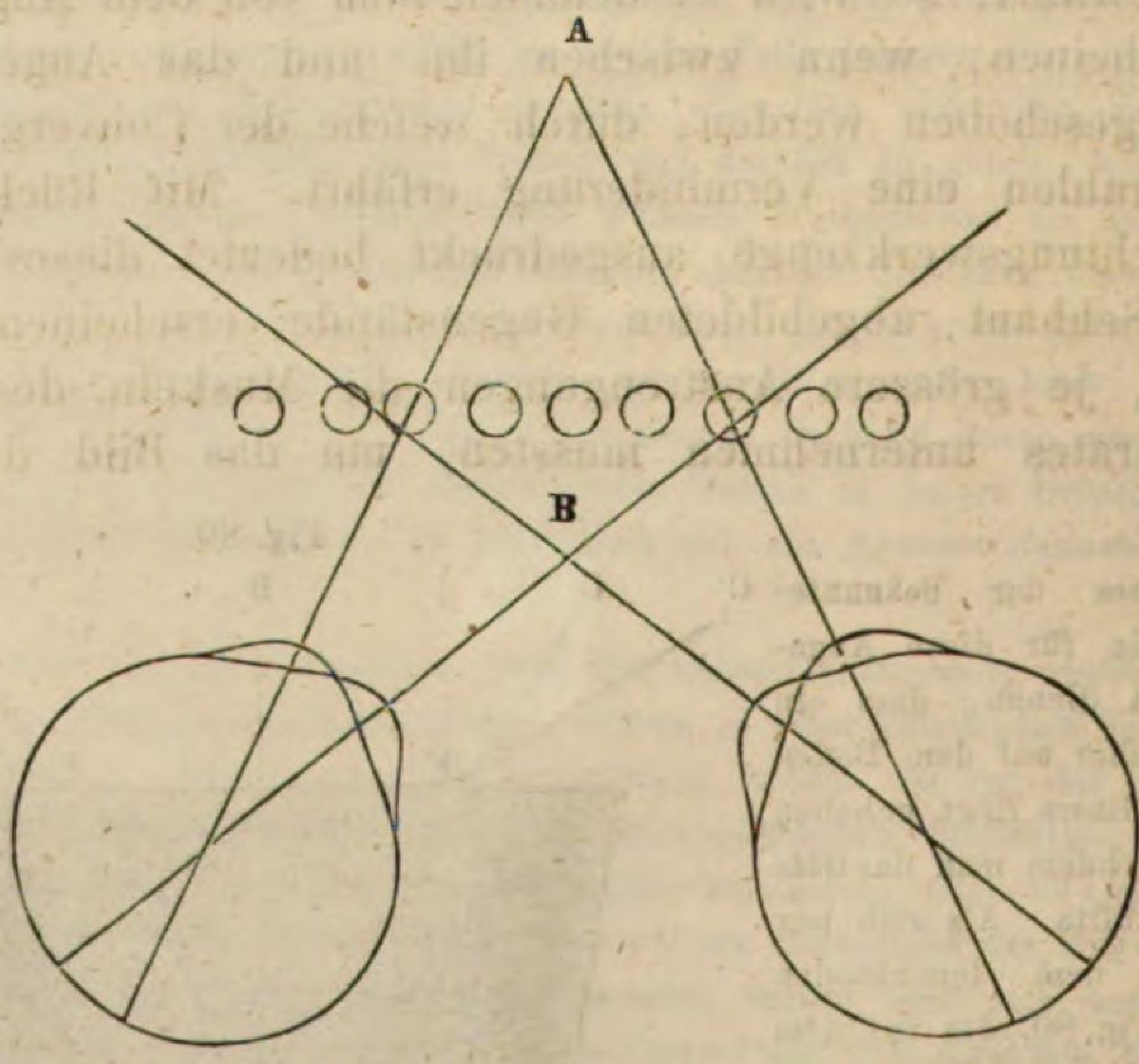
*) Poggendorff's Annalen 81. Bd. 118.

voraussetzen, von einem in B befindlichen Auge wiederum auf einen Punkt der Retina zusammengebrochen werden. Als nun eine Flüssigkeit aufgegossen wurde, welche einen höheren Brechungscoeffizienten, als die Luft besitzt, wurden aus bekannten Gründen an den Grenzflächen der Luft und der Flüssigkeit, die Strahlen CF und DF nach C' und D' (welche früher auf C und D eintrafen) abgelenkt. Die von demselben Orte austretenden Strahlen divergiren also stärker, als früher.

Beim Sehen mit zwei Augen bedingt vorzugsweise der Convergenzwinkel der Sehachsen, oder besser ausgedrückt, die ihn bestimmende Muskelzusammenziehung, das Urtheils über die Entfernung der Gegenstände. Je mehr sich die Sehachsen dem Parallelismus nähern müssen, um auf einen zu sehenden Punkt einzuschneiden, um so entfernter erscheint uns derselbe. Dieses wichtige Faktum ist in seiner einfachsten Gestalt von H. Meyer *) dargestellt.

Meyer lehrte einen Versuch, in welchem es gelingt, ein und denselben Gegenstand durch wechselnde Convergenz der Sehachsen in verschiedenen Entfernungen zu sehen. Man fixirt, um dieses zu bewerkstelligen, einen Gegenstand scharf und anhaltend, den man über einen Rohrsessel, oder eine fein gemusterte Tapete, oder überhaupt über ein Gebilde hält, in welchen dieselben Formen in regelmässiger Wiederkehr vorhanden sind. Beachtet man nun auch die Figuren dieses Gebildes, während man den Fixationspunkt unverrücklich erhält, so rücken dieselben sehr bald in die Ebene

Fig. 81.



des scharf gesehenen Gegenstandes. Der Versuch gelingt am besten, wenn man die fixirten Punkte in nicht zu grosse Entfernung von dem Rohrsessel legt. Die Fig. 81.

*) Archiv für physiolog. Heilkunde. I. Bd. — Brewster, Philosoph Magaz. XXX. 366.

erläutert, warum diese Erscheinung am leichtesten erzeugt werden kann, wenn man den fixirten Gegenstand auf einen andern von regelmässig wiederkehrendem Muster hält; denn nur dann ist es möglich, dass sich auch ohne Kreuzung der Sehachsen in der Ebene des Musters auf identischen Netzhautstellen entsprechende Abschnitte desselben abbilden, die zu einem Bilde zusammengelegt werden können. So sollen in der Figur die kleinen Kreise das regelmässig wiederkehrende Muster darstellen. Wird nun ein Punkt *A* jenseits, oder ein Punkt *B* diesseits desselben fixirt, so fallen auch immer ungefähr zusammenpassende Abschnitte der Kreise, die in der Vorstellung leicht zu einem zusammengelegt werden können, auf identische Netzhautstellen. Beim Fixiren des Punktes *A* rückt also das Muster nach *A* und wird, wie aus früheren Darstellungen folgt, grösser; bei scharfem Betrachten von *B* stellt sich das Muster, indem es zugleich kleiner wird, näher. — Ist man einmal in diesem Versuch geübt, so sieht man auch bald, beim Federschneiden u. s. w., die entferntere Tischplatte, die Schrift eines Buches u. dgl. vor das Auge rücken und mit der Feder sich kreuzen.

Jenseits der deutlichen Sehweite und in Abständen, in welchen die Gegenstände mit fast parallelen Sehachsen aufgefasst werden, gewinnt die relative Lichtstärke ebenfalls einen Einfluss auf Schätzung der Entfernungen; unzweifelhaft erscheinen uns ferne Gegenstände, z. B. die den Horizont begrenzenten Bergmassen, je nach dem Grad der Erleuchtung und der durch dieselbe bewirkten Sonderung ihrer einzelnen Gruppen, näher oder ferner; keinenfalls aber gewinnt innerhalb der deutlichen Sehweite die Lichtstärke einen Einfluss; noch niemals wird es gelungen sein, einen Schatten, den man auf einen sonst erleuchteten ebenen Gegenstand wirft, als eine Vertiefung zu sehen. Die Schätzung des Abstandes sehr entfernter Gegenstände ist übrigens ungenau genug; so glaubt man den Mond unmittelbar auf dem Gipfel entfernter Berge stehen zu sehen oder hält selbst hohle Flächen z. B. in geschnittenen Steinen oder Gypsabgüssen für erhaben und umgekehrt; Moser, Brewster, Schröder *) hat dieses Phänomen genauer verfolgt.

Zu den oben erwähnten Beispielen über die Wirkung des Accommodationsapparates als formbestimmendes Mittel fügen wir noch die Erscheinung des Nahetretens der Gegenstände, die man durch ein Teleskop betrachtet; die scheinbare Entfernung oder Näherung eines auf der Retina vorhandenen Nachbildes, je nachdem man das Auge für die Ferne oder die Nähe accommodirt u. s. w.

Beim Sehen mit zwei Augen scheint der Accommodationsapparat eines jeden Auges in der Weise in die Bestimmung der Ferne mit einzugehen, dass die mittlere Wirkung beider das Maass abgibt. Hierfür scheint die Erfahrung zu sprechen, die man aus der Beobachtung eines linienförmigen Körpers gewinnt, den man seitlich von der Angesichtsfläche hält, so dass er dem einen Auge um ein beträchtliches näher steht, als dem andern. Dieser rückt aus seinem scheinbaren mittleren Abstand in die Ferne,

*) Poggendorff's Annalen 87. 306.

wenn man das nähere Auge schliesst und umgekehrt aus dem scheinbaren mittlern Abstand in die Ferne, wenn das fernere Auge geschlossen wird, nachdem man vorher mit beiden Augen hinsah. Dieses Phänomen wird namentlich deutlich, wenn man rasch mit dem Schliessen der Augen wechselt, wobei der körperliche Streifen in deutliche Bewegung geräth.

Die Wirkung der Sehachsen-Convergenz für die Bestimmung der Entfernung wird vollkommen klar, wenn man zergliedert, wie sich beim Sehen mit zwei Augen die Anschauung des Körperlichen entwickelt. Nach Brücke*), dem alle Späteren gefolgt sind, bildet sich die Anschauung eines jedweden Körpers nicht durch einen einzigen Blick, sondern aus einer Reihe rasch aufeinander folgender, deren zeitlich getrennte Wirkungen die Seele auf einen einzigen Zeitmoment bezieht. Diese Behauptung ist zunächst nur eine folgerechte Ableitung aus der bekannten Thatsache, dass wir mit beiden Augen überhaupt nur eine unendlich dünne Schicht des Raumes sehen, diejenige nämlich, auf welche der Schnittpunkt beider Sehachsen eingestellt ist. Der empirische Beweis für dieselbe ist aber leicht zu liefern, wenn man sich die Fähigkeit erworben hat, den stetigen in der Zeit erfolgenden Schwankungen des Convergenzwinkels der Sehachsen einen Zaum anzulegen und zugleich einen Körper zu den Augen in eine Lage bringt, bei welcher die einfache Auffassung der einander naheliegenden Punkte nur geschehen kann mit Hilfe starker Abweichungen in den erwähnten Winkeln. Hält man sich z. B. einen langen schmalen Stab, z. B. ein Bleistift, senkrecht gegen die Angesichtsfläche auf die Nasenwurzel und fixirt einen beliebigen Punkt desselben, so wird man diesen Punkt einfach, alle übrigen aber doppelt sehen, so dass der Stab aus zwei gekreuzten zu bestehen scheint. Je nach dem Orte, an welchem man beliebig die Sehachse zum Schneiden bringt, wird man bald das den Augen zu- oder abgewendete Ende einfach sehen.

In diesem Prinzip findet nun Brücke auch den Grund der perspectivischen Wirkung der Stereoskope. Unter diesen letztern versteht man aber Einrichtungen, in welchen man gleichzeitig mit den beiden Augen zwei perspectivische Bilder eines und desselben Körpers betrachtet und zwar so, dass jedes der beiden Augen nur die ihm angehörige perspectivische Zeichnung ansieht. Die Ueberzeugung, dass ein Gegenstand, der gleichzeitig mit beiden Augen betrachtet wird, für jedes dieser letzteren ein besonderes Bild entwirft und dass wir nur irrthümlich ein einziges zu sehen glauben, wird man sogleich erhalten, wenn man einen beliebigen Körper, z. B. einen abgestutzten Kegel der Nasenwurzel gegenüber vor beide Augen hält und nun wechselnd das eine und das andere schliesst. Entwirft man sich nun zwei perspectivische Ansichten dieses Kegels, die eine für das rechte, die andere für das linke Auge, so hat man damit zwei der verlangten stereoskopischen Zeichnungen. Die Mittel aber, um diese Zeichnungen in verlangter Weise vor die Augen zu führen, sind sehr mannigfaltige; Wheatstone, der überhaupt zuerst den Gedanken fasste, Bilder von rechter und linker Perspective zu entwerfen und gleichzeitig zu beobachten, wendete das auf S. 251 erwähnte Spiegelstereoskop an; dasselbe leisten zwei Röhren, Prismen u. s. w.

Wir werden nun einen einfachen Fall stereoskopischer Betrachtung nach der Brücke'schen Erläuterung behandeln. — Wenn wir einen abgestutzten Kegel vor die beiden Augen halten, so dass er ihnen die abgestumpfte Spitze zuwendet, und seine Achse horizontal und senkrecht gegen die Verbindungslinien der beiden Augenmittel-

*) Müller's Archiv. 1841. 1. C.

punkte gerichtet ist, dann entwirft er bei einer gewissen Entfernung in den Augen zwei Bilder, etwa wie in Fig. 82, von diesen gehört *R* dem rechten und *L* dem linken an; ihre Stellung zu einander muss die hier gezeichnete sein, wenn sie im Stereoskop als Kegel erscheinen sollen. Bringen wir nun vor jedes Auge eine Röhre (eine Papierrolle) von der Länge mehrerer Zolle, Fig. 83 *AB*, *A' B'*, und legen an ihr freies Ende die Zeichnungen *L*, *R* in der bezeichneten Stellung, so decken sich beide Figuren sehr bald und erzeugen dann das Bild zweier vor einander schwebenden Kreise, von denen der kleinere den Augen beträchtlich näher liegt, als der grössere. Da nun die an der Zeichnung zu einander gehörigen Punkte der Körper nicht gleichzeitig auf zugeordnete Netzhautstellen fallen, so kann das einfache Bild aus beiden Figuren nicht durch ein gleichzeitiges Zusammenlegen der verschiedenen Bildpunkte, sondern nur dadurch entstehen, dass die zugeordneten Stellen in zeitlicher Folge über die zugehörigen Bildpunkte geführt werden; indem dieses aber geschieht, müssen sich die Convergenzwinkel der beiden Augenachsen ändern. Denn gesetzt, man wollte von den zu einander gehörigen Punkten der Zeichnungen *I*, *I* zu den *II*, *II* übergehen, und zwar beide Male den Ort mit der beliebigen identischen Stelle, die sich am Schnittpunkt der Sehachse mit der Retina findet, betrachten, so würde bei Betrachtung von *I*, *I* der Convergenzwinkel der Augenachsen *DEF* und für *II*, *II* der Convergenzwinkel *GHJ* sein müssen. Da uns nun ein Gegenstand um so näher erscheint, je grösser der Convergenzwinkel, mit dem wir ihn ansehen, so wird da *DEF* > *GHJ* der Punkt *I* vor *II* zu schweben scheinen.

Fig. 82.

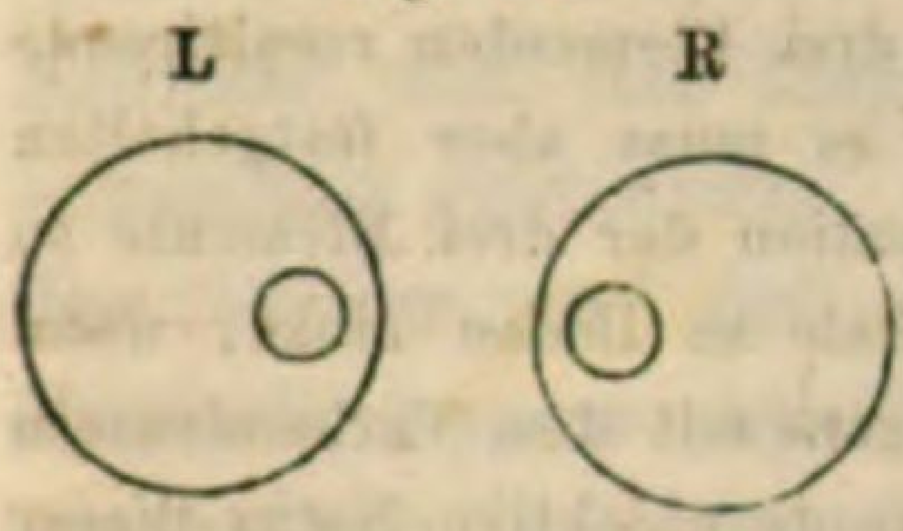
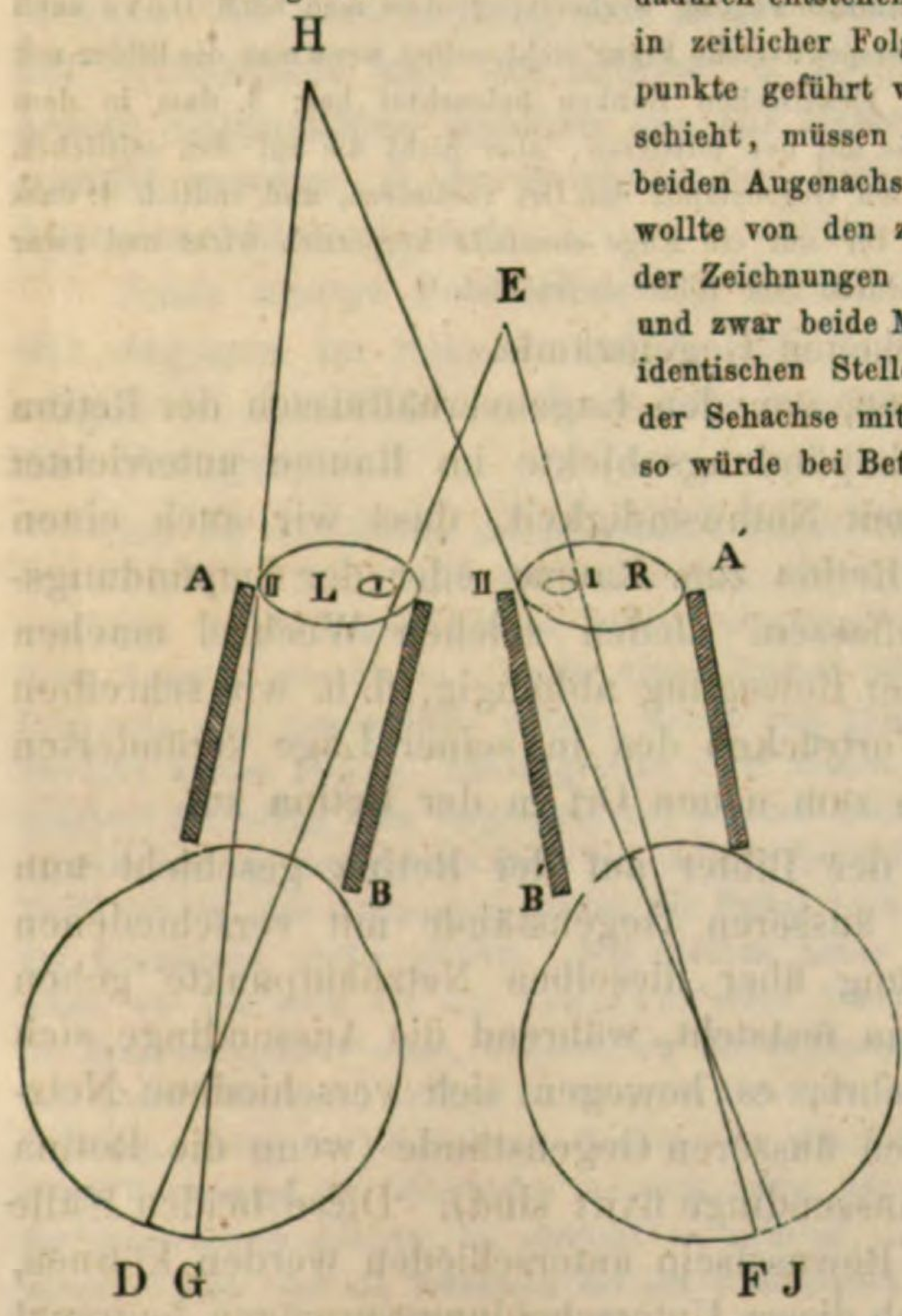


Fig. 83.



Der Einfluss, welchen die Grösse der Zerstreuungskreise auf das Urtheil über die Entfernung gewinnt, ist von Czermak*) genauer studirt worden. Der von ihm aufgefundene Satz lautet: „Ein diesseits des Accommodationspunktes gelegener wird um so näher, ein jenseits gelegener um so entfernter erscheinen, je grösser die Zerstreuungskreise sind, welche an ihm wahrgenommen werden."

*) Wiener Sitzungsberichte Bd. XV. 425.

Durch welchen Mechanismus nun Lichtstärke, Accommodationsbewegung und Achsenconvergenz das Urtheil bestimmen, ist noch nicht ermittelt; um die Psychologen zu beruhigen, darf man zugeben, dass der aus den drei Elementen resultirende Eindruck noch nicht die Vorstellung der Entfernung ist, es muss aber festgehalten werden, dass sich in der Seele an eine besondere Combination der drei Elemente so gewiss die zugehörige Vorstellung kettet, wie die Waagschale zu Boden sinkt, wenn sie belastet wird. Insofern man die Ausbildung des Vermögens mit dem Vorhandensein des Vermögens überhaupt verwechselte, hat man die sogenannte objektive Natur dieser Phänomene (d. h. ihr Gebundensein an einen in dem Hirn vorgebildeten Mechanismus irgend welcher Art) oft verkannt.

Schliesslich darf die Bemerkung nicht unterlassen werden, dass noch mancherlei andere Grundlagen zur Bildung eines Urtheils über Perspektive vorhanden sein müssen als die gegebenen, was schon daraus hervorgeht. 1. dass die entoptischen Gegenstände fast immer in gleicher Entfernung vor dem Auge schweben, wenn auch die Achsenconvergenz und die Accommodationsbewegung wechselt; 2. dass man nach Dove auch noch in einem Stereoskop eine perspektivische Figur sieht, selbst wenn man die Bilder mit dem nur momentan dauernden elektrischen Funken beleuchtet hat; 3. dass in dem Meyer'schen Versuch wohl die auf den mittleren, aber nicht die auf den seitlichen Theilen der Netzhaut abgebildeten Gegenstände den Ort verändern, und endlich 4. dass eine perspektivische Zeichnung für nur ein Auge ebenfalls körperlich wirkt und zwar sehr auffallend, wenn man sie durch eine Röhre betrachtet.

Bewegung der gesehenen Gegenstände.

Da wir, wie erwiesen, von den Lagenverhältnissen der Retina zum Raum, und der Empfindungsobjekte im Raume unterrichtet sind, so folgt daraus mit Nothwendigkeit, dass wir auch einen Ortswechsel, sei es der Retina zum Raume, oder der Empfindungsobjekte zu einander auffassen. Jeden solchen Wechsel machen wir bekanntlich von einer Bewegung abhängig, d. h. wir schreiben ihn einem successiven Fortrücken des in seiner Lage veränderten Gegenstandes vom alten zum neuen Ort in der Retina zu.

Dieses Fortrücken der Bilder auf der Retina geschieht nun entweder so, dass die äusseren Gegenstände mit verschiedenen Punkten ihrer Ausdehnung über dieselben Netzhautpunkte gehen (wenn nämlich die Retina feststeht, während die Aussendinge sich bewegen), oder umgekehrt, es bewegen sich verschiedene Netzhautpunkte über dieselben äusseren Gegenstände (wenn die Retina fortrückt, während die Aussendinge fixirt sind). Diese beiden Fälle müssen nach Obigem im Bewusstsein unterschieden werden können, und es fragt sich nur, ob dieses Unterscheidungsvermögen begrenzt oder unbegrenzt ist. Diese Frage ist von der Erfahrung dahin beantwortet, dass wir nicht in allen Fällen in der Anschauung richtig urtheilen, ob die Verschiebung der Bilder auf den Sehnervenfasern von der Bewegung der Retina oder einer Bewegung der Bilder

abhängig sei. Diese Beschränkung ist bedingt durch den Umstand, dass nur die Nerven einer gewissen Zahl von Muskelgruppen einen Einfluss auf die Lagenbestimmung unserer Retina in unserer Anschauung gewinnen. Demgemäss halten wir, wenn die Verschiebung der Bilder auf der Retina gleichzeitig mit der Thätigkeit dieser Muskelgruppen eintrifft, die Gegenstände für ruhig, und umgekehrt erscheinen uns die Gegenstände bewegt, wenn die Verschiebung auftritt, ohne dass diese Muskeln in Thätigkeit kommen, und dieses selbst dann noch, wenn uns auch das Bewusstsein sagt, dass die Gegenstände ruhen und wir uns bewegen.

Erfahrungsgemäss erläutern wir die Verschiebung der Bilder auf der Retina aus einer Bewegung dieser letztern, wenn folgende Muskeln die Verschiebung des Auges bestimmen: 1. Die Muskeln der Wirbelsäule und des Kopfes; 2. die Muskeln der obern und untern Extremitäten insofern sie zur Bewegung des Rumpfes verwendet werden; 3. die Muskeln des bulbus oculi und 4. die des Accommodationsapparats.

Jedes andere Fortrücken der Bilder auf der Retina schieben wir dagegen im Sehakte selbst auf eine Bewegung der Bilder, mögen in der That es diese oder unsere Augen es sein, welche sich bewegen.

Unter die bekanntesten der fehlerhaften Schlüsse unseres Sehorgans zählt, ausser den scheinbaren Bewegungen der Gegenstände, wenn wir fahren, derjenige, dass die gesehenen Empfindungsobjekte zu wanken scheinen, wenn wir mit der Fingerspitze einen Augapfel verschieben. Ausser diesen Fehlern sehen wir aber mit Rücksicht auf Bewegung noch mannigfaltige andere, welche zum grossen Theil durch das Tastgefühl corrigirt werden können. Dahin gehören unter andern, dass wir einen bewegten Gegenstand für ruhig, dazu vergrössert und in einer ganz besondern Gestalt sehen, wenn derselbe eine wiederkehrende Bahn mit solcher Geschwindigkeit durchläuft, dass sein Nachbild auf den verlassenen Stellen der Retina noch nicht verschwunden ist, wenn der Gegenstand wieder eintritt. Wir glauben ferner den Gegenstand in Bewegung, wenn wir ihn nach Art des Scheiner'schen Versuches durch eine feine Oeffnung im Zerstreuungsbilde sehen, während wir die Oeffnnng verschieben. Die Richtung der scheinbaren Bewegung erfolgt im umgekehrten Sinne der wirklichen Verschiebung der Oeffnung, wenn der Gegenstand diesseits der deutlichen Sehweite liegt. Haben wir einen Gegenstand in fehlerhafter Accommodation oder unter fehlerhafter Convergenz der Augenachsen erblickt, so verrückt er sichtbar, so wie wir für seine Entfernung accommodiren oder die Sehachsen auf ihn einschneiden lassen u. s. w.

In wiefern der Begriff der Geschwindigkeit *) in das Gebiet der physiologischen Untersuchung fällt, ist noch zu ermitteln; dass er hier eine Wurzel habe, kann nicht bestritten werden, weil wir den Grad der Geschwindigkeit geradezu sehen.

*) Czermak, Ideen zu einer Lehre von Zeitsinn. Wiener Sitzungsberichte XXIV. Bd. 231.

4. Glanz. Das Auge unterscheidet noch eine eigenthümliche Beschaffenheit leuchtender Oberflächen, welche die Sprache mit dem Namen des Matten und des Glänzenden bezeichnet. — Die Empfindung des Glanzes wird uns zu Theil, entweder wenn das Licht von einer glatten Oberfläche zurückgeworfen unser Auge trifft, oder wenn wir im Stereoskop die beiden an und für sich matten Zeichnungen desselben Gegenstandes verschieden färben. Dove *).

Dove ist der Meinung, dass diese letztere sehr überraschende Beobachtung überhaupt erläutere, wie das Licht beschaffen sein müsse, wenn es glänzen solle; er glaubt nämlich, dass Glanz dem Auge nichts anders bedeute, als das gleichzeitige Eintreffen verschieden gefärbter Strahlen in das Auge von zwei unmittelbar hinter einander gelegenen Flächen; denn in der That senden die spiegelnden Flächen Licht von ihrer äussersten Grenze und aus der Tiefe ihrer Substanz in das Auge, und eben dasselbe leisten die verschieden gefärbten stereoskopischen Bilder desselben Gegenstandes, die in der Empfindung zu einem einzigen zusammengelegt werden. Dieser Erklärung von Dove fügen sich aber nicht die Erscheinungen der Farbenmischung, nach der Methode von Helmholtz, indem zwei matte Farben bei ihrer Mischung niemals glänzend werden. — Die Figuren erscheinen im Stereoskop besonders schön glänzend, wenn man eine derselben farbig und die andere schwarz anstreicht.

5. Sehen mit dem blinden Fleck **). — Reicht beim einäugigen Sehen das Bild einer geraden Linie von einem empfindlichen Orte in den Bereich der Mariotte'schen Stelle (p. 300), also nur in sie, aber nicht darüber hinaus, so verkürzt sich die Linie um den Antheil, welcher in die blinde Region fällt; es ist als ob sie über die Grenzen des Sehfeldes gefallen wären. Reicht dagegen das Bild der Linie über den blinden Fleck hinaus, so verkürzt sich die Linie keineswegs um den Durchmesser desselben, sondern die Vorstellung ersetzt den im Sehen ausgefallenen Theil (Volkmann, Ad. Fick und P. du Bois-Reymond). Halten wir das Weber'sche Maass für die Grösse der Raumvorstellung aufrecht, so würde dieses bedeuten, dass die Seele von den Abstand der Nervenröhren unterrichtet ist, welche den blinden Fleck umgrenzen. Zu den Hilfsmitteln, durch welche diese Vorstellung gewonnen wird, gehört unzweifelhaft die Einrichtung, dass die Eintrittsstellen der Sehnerven in den beiden Augen nicht auf identische Orte der Retina fallen. Es entspricht also dem blinden Fleck des einen Auges eine Retinastelle des andern, die zu einer dem Sehnerveneintritt entsprechend

*) Poggendorff's Annalen 83. Bd.

**) Volkmann, Leipziger Sitzungberichte. 1853. — Ad. Fick und P. du Bois-Reymond; Müller's Archiv 1853.

grossen Raumanschauung führt. Die Formen und Farben, mit welcher die Einbildungskraft beim einäugigen Sehen den Raum des blinden Flecks ausfüllt, ist abhängig von den Gestalten und Farben, welche durch die Retinaelemente desselben Auges zur Empfindung gebracht werden. Als Beispiele für dieses Verhalten mögen folgende gelten: Man ziehe auf weissem Grund eine farbige Wellenlinie, so wird das Curvenstück, welches durch den blinden Fleck fällt, in der Vorstellung durch eine gerade Linie von der Farbe der welligen ergänzt (A. Fick, P. du Bois); oder man ziehe auf ein weisses Papier ein rechtwinklichtes Kreuz, welches sich aus einem blauen und gelben oder zwei beliebigen anders gefärbten Balken zusammensetzt; auf den Kreuzungspunkt klebe man eine runde schwarze Scheibe, und bringe das Papier so vor das Auge, dass die schwarze Scheibe auf dem Mariotte'schen Fleck verschwindet; augenblicklich erscheint das verdeckte Kreuz vollständig und zwar auch in den Winkeln auf weissem Grunde; die Farbe des Balkens, welcher den andern in der Vorstellung deckt (die scheinbar vordere) ist wechselnd, bald die eine und bald die andere (Volkmann); noch überraschender gestaltet sich das Phantasma, wenn man eine farbige Scheibe auf Gedrucktes legt und die leztere im blinden Fleck zum Verschwinden bringt, alsdann erscheint der Raum desselben mit unleserlichen Buchstaben ausgefüllt (Volkmann). Dieser letztre Versuch gelingt jedoch nur dann, wenn kleine und somit zahlreiche Buchstaben auf die empfindenden Retinaflächen auffallen, wird der weisse Zwischenraum der einzelnen Buchstaben gross, so dass namentlich die farbige Scheibe von einem breiten weissen Saume umgeben ist, so füllt sich der Mariotte'sche Raum mit einer weissen Fläche. Diese letztre Modification des Versuchs, welche Volkmann mannigfach variirt hat definirt den obigen Satz noch dahin, dass die Wirkung der Einbildungskraft, welche beim einäugigen Sehen die Lücke im Sehfeld ausfüllt, abhängig ist von der Breite des erregten Netzhautsaumes um den Mariotte'schen Fleck.

Beim Sehen mit zwei Augen füllt, wie schon bemerkt wurde, die Lücke, die das eine Auge im Sehfeld lässt, das andere aus mittelst der Empfindungen, welche auf dem identischen Ort desselben zu Stande kommen. Dem Vorhergehenden gemäss muss also beim Sehen mit beiden Augen ein Wettstreit der Einbildung und der Empfindung entstehen, indem die sehende der beiden identischen Stellen den zugehörigen Raum mit den Bildern der Empfindung

und die blinde denselben Raum mit den Bildern der Vorstellung auszufüllen strebt. In diesem Kampfe gewinnt nach Volkmann die Empfindung die Oberhand, wenn beide Auge gleich stark vom Licht affizirt werden; das Umgekehrte ist aber dann der Fall, wenn die Erleuchtung des Auges, in welchem der Mariotte'sche Raum durch die Empfindung erfüllt wird, schwächer ist als die des andern. Diese letztere merkwürdige Erscheinung kommt also dann zu Stande, wenn das eine Auge, d. h. das den Mariotte'schen Vorstellungsraum mit gesehenen Bildern ausfüllt, durch ein gefärbtes Glas sieht.

Schutzwerkzeuge des Auges.

Unter ihnen begreift man Gebilde sehr verschiedener Art und verschiedener Funktion, welche nur darin Uebereinstimmung zeigen dass sie die in aller nächster Beziehung zum Sehen stehenden Theile des Auges vor gewissen schädlichen Einflüssen schützen. Man zählt zu ihnen:

1. Die Sclerotica. — Vermöge ihres festen Gewebes bildet sie eine Capsel, in welchem die zur Accommodation und zur Lichtempfindung dienenden Organe aufbewahrt sind. Die Spannung, welche sie während des Lebens zeigt, und die nach dem Tode rasch verschwindet, verdankt sie wohl zunächst der Anfüllung ihres innern Raumes, soweit er nicht von den Brechungskörpern eingenommen ist, durch die Blutgefässe der Chorioidea.

2. Die Augenlider*). Dieser gespaltene Deckel schliesst sich mit seiner hintern der vordern Fläche des Auges fast überall genau an, wenn seine freien Ränder aufeinander liegen; in diesem Zustand bleibt einzig an der hinteren Kante der sich berührenden Augenlider wegen der Abstumpfung der Ränder ein kleiner dreiseitiger Kanal, dessen Basis durch Cornea und Sclerotica und dessen geneigte Flächen durch die Augenlider gebildet werden.

Dieser Apparat ist bekanntlich mit einem knorpeligen Skelett, einer Muskulatur, der Meibom'schen Drüsenreihe, die ein Sekret zur Befettung seiner Ränder liefert, und einer Behaarung versehen. Das Skelett, tarsus, erhält die schlitzförmige Gestalt der Augenlidspalte aufrecht, so dass bei beträchtlichen Seitenbewegungen des Auges die Cornea noch vom Licht getroffen wird. Die geschlossene Spalte wird eröffnet, indem der m. levator palpe-

*) Moll, Bejdragen tot d. Anat. en Physiolog. der oogleden. Utr. 1857.

brarum das obere Augenlid vermittelst des tarsus, (wie an einer Vorhangstange) emporhebt, während das untere Lid durch seine Schwere herabfällt. — Die geöffneten Lider werden geschlossen durch den m. orbicularis palpebrarum, der wegen seiner Befestigung am inneren Augenwinkel (am lig. palpebrale internum und Oberkieferknochen) zugleich den Augendeckel etwas nach innen zieht. — Beide Muskeln erhalten aus verschiedenen Bahnen ihre Nerven, m. levator palpebrarum vom n. oculomotorius und dem sympathicus; m. orbicularis palpebrarum vom n. facialis. — Diese Nerven finden sich wechselnd im Erregungszustande, so dass das Auge bald geöffnet und geschlossen wird. Der Zeitraum der Schliessung geht gewöhnlich so rasch vorüber, dass die Nachbilder die Unterbrechung des Lichteintritts überdauern.

Ausserdem werden die Augenlider reflektorisch geschlossen oder wenigstens ihre Spalte durch den m. orbicularis verengert, wenn ein intensiver Lichteindruck auf die Retina geschieht oder wegen mangelhafter Wirkung des Accommodationsapparates Zerstreuungsbilder auf der Retina auftreten. — Bemerkenswerth erscheint es nach den Untersuchungen von Bell, dass mit dem Schliessen der Augenlider eine unwillkürliche Bewegung des bulbus nach oben und innen erfolgt, welche nach Gräfe*) von einer Pressung des aufsteigenden unteren Augenlides herrührt, da sie sich auch bei Augen mit gelähmten Muskeln einfindet.

Ausser den Bewegungen, welche das Lid durch seine eigenen Muskeln empfängt, vollführt es auch andre, welche ihm von den Augenmuskeln mittelst des Bulbus zugetheilt werden. Man sieht sie leicht, wenn man bei geöffneten Augenlidern den Bulbus nach verschiedenen Seiten hinführt (Moll). — Die Behaarung der Augenliderränder durch die sogenanten Cilien stellt einen feinen Fühlapparat (Tasthaare) dar, auf deren Berührung das Auge ebenfalls geschlossen wird, um mechanische Insulte zu verhüten. —

3. Der Thränenapparat. Aus der Thränendrüse wird unter das obere Augenlid aus mehreren punktförmigen Oeffnungen eine sehr schwach salzige Flüssigkeit entleert, welche sich durch Capillarität und durch den Augenlidschlag über die vordere Fläche des Auges verbreitet, sie stets befeuchtet (wodurch sie die Augenhäute vor Verdunstung schützt und wäscht) und die endlich gegen den inneren Augenwinkel in den sog. Thränensee abfliesst. Während des Augenlidschlusses läuft sie nach diesem Raume hin durch den dreieckigen

*) Bei Tourtual in Müller's Archiv 1838. 323. — Archiv für Ophthalmologie I. 2. 289.

Kanal der Augenlider. Ihr Ueberlaufen über die Augenlidränder wird, insofern die Thränen nicht massenhaft abgesondert werden, durch das fettige Sekret der Meibom'schen Drüsen verhindert. Aus dem Thränensee wird die Flüssigkeit durch die capillaren und stets offenen Mündungen der Thränenröhrchen aufgenommen, wenn diese letzteren beim Blinzeln des Augenlides in den Thränensee getaucht werden. Ueber den Mechanismus, der die Thränen aus den Röhrchen in den Sack befördert, bestehen, seitdem die Ansicht, dass die Thränen von dem Inspirationsbewegungen angesaugt würden, beseitigt ist, nur noch zwei Ansichten. Nach der einen, welche von Bougeot, Roser und Hyrtl *) vertreten wird, erweitert sich beim Blinzeln der Thränensack und zieht den Inhalt der Röhrchen an sich. Roser findet den thatsächlichen Beweis für diese Unterstellung darin, dass sich das innere Augenlidbändchen, welches an die vordere Fläche des Thränensackes geheftet ist, beim Blinzeln fühlbar nach vorn erhebt; es muss sich dadurch die Höhle des Sacks, weil er mit der hintern Fläche an den Knochen unnachgiebig angewachsen ist, erweitern. Die Zusammenziehung resp. Geradstreckung der Fasern des m. orbicularis palpebr., welche in einen Bogen, dessen Convexität nach hinten gerichtet ist, über den Thränensack wegstreichen, bedingt die beschriebene Bewegung des Bändchens. Dieser Annahme entgegen behauptet Moll, dass beim Blinzeln der Sack verengert und sein Inhalt nur nach der Nasenhöhle hin entleert werde, weil die Thränenpunkte zu der Zeit gegen die caruncula angestemmt, also verschlossen sein. Wenn nun nach vollendeter Zusammenziehung des m. orbicularis palb. das Lid, resp. die Thränenpunkte, aus dem Thränensee in die alte Lage zurückkehrte, soll sie sich von neuen mit Flüssigkeit füllen, da ihr früherer Inhalt in den Sack abgelaufen sei. — Aus dem Sack werden die Thränen durch den Thränenkanal in die Nase geführt, wo schliesslich ihr Wasser in Folge der durch das Athmen eingeführten Luftströme verdunstet. Der Abfluss durch den Thränenkanal geschieht wohl durch Fortkriechen der Flüssigkeit an den benetzbaren abschüssigen Wandungen. Die Nasenklappe des Thränenkanals verhindert das Aufsteigen von Luft durch den letztern während der Exspiration bei geschlossener Nase.

*) Schmid, über Absorption der Thränenflüssigkeit. Marburg 1856.

Entoptische Erscheinungen*).

Die undurchsichtigen oder mindestens weniger durchsichtigen Theile der optischen Augenmittel und die Retinalgefässe veranlassen im beleuchteten Auge Empfindungen, deren Objekt entweder dunkel, als Schatten, oder leuchtend erscheint.

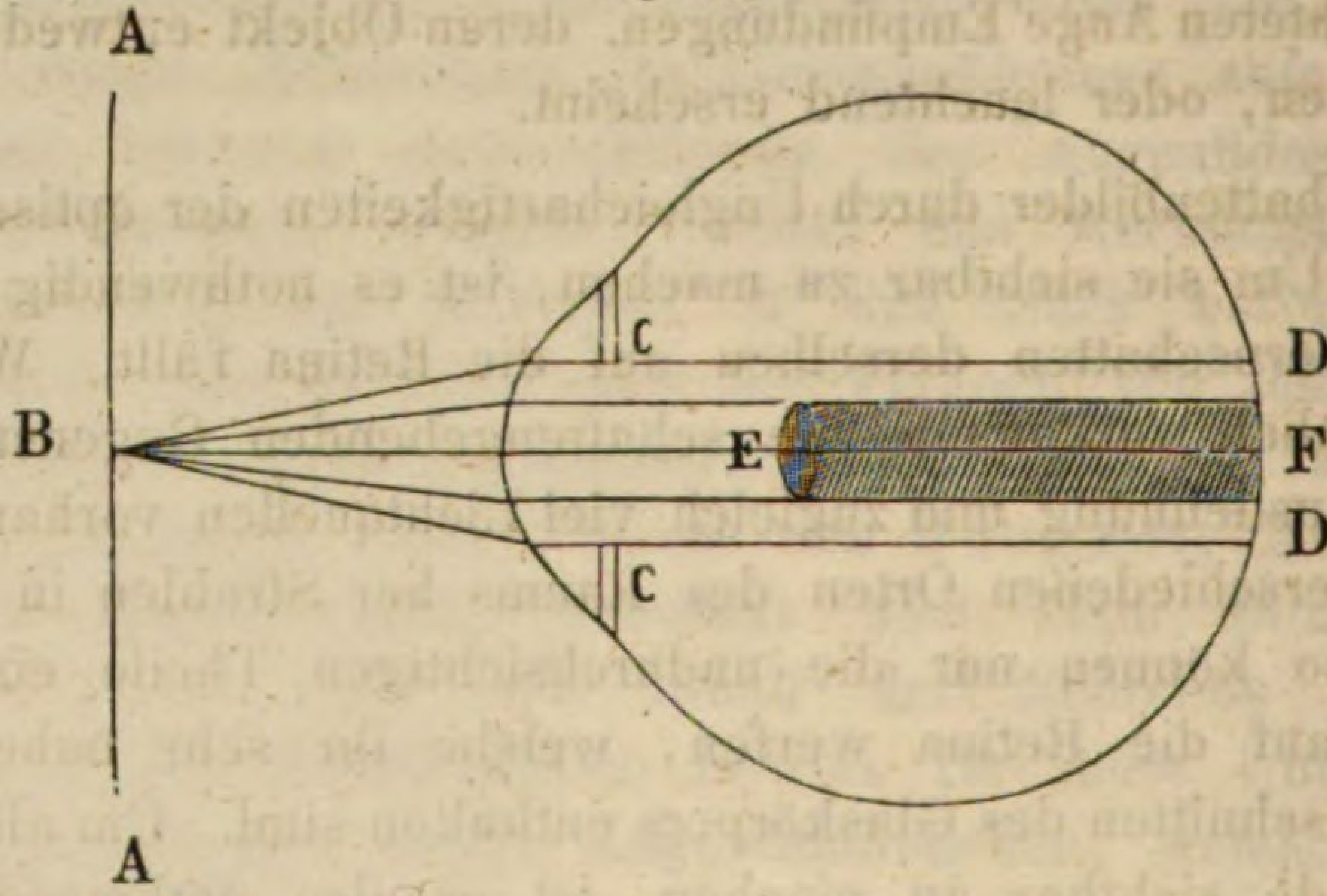
a) Schattenbilder durch Ungleichartigkeiten der optischen Mittel bedingt. Um sie sichtbar zu machen, ist es nothwendig, dass ein dunkler Kernschatten derselben auf die Retina fällt. Wenn, wie es gewöhnlich vorkommt, die schattengebenden Gegenstände von geringer Ausdehnung und zugleich viel Lichtquellen vorhanden sind, die von verschiedenen Orten des Raums her Strahlen in das Auge senden, so können nur die undurchsichtigen Theile einen Kernschatten auf die Retina werfen, welche ihr sehr nahe, in den hintern Abschnitten des Glaskörpers enthalten sind. Um alle dunklen Gegenstände sichtbar zu machen, ist es also nothwendig, einen Büschel homozentrischen Lichtes (welches von einem Punkte ausgeht) in das Auge fallen zu lassen, weil dann alle in dem durchsichtigen Augentheil vorkommenden Trübungen einen Kernschatten entwerfen. Wird der leuchtende Punkt, z. B. eine feine Oeffnung in einem undurchsichtigen Schirm, in den Brennpunkt des Auges gebracht, so wird, da die Strahlen desselben dann hinter der Linse parallel laufen, der Schatten so gross sein, wie der dunke Körper; man sieht dieses aus Fig. 84, in derselben ist *AA* die Brennebene, *B* der leuchtende Punkt (die Oeffnung des Schirms), *CC* die Pupillenöffnung, *DD* der entsprechende Zerstreuungskreis auf der Retina, *E* ein undurchsichtiger Körper in den brechenden Medien, *F* der ihm entsprechende Schatten auf der Retina.

Bringt man den Schirm mit der Oeffnung zwischen den Brennpunkt und das Auge, so wird, da die Strahlen im Glaskörper divergiren, der dunkle Körper einen grösseren Schatten entwerfen und umgekehrt wird der letztere kleiner als sein zugehöriges Objekt, wenn der leuchtende Punkt vor die Hauptbrennebene gehalten wird.

*) Listing, Beitrag zur physiol. Optik. Göttingen 1845. — F. C. Donder's Beitrag zur Bestimmung des Sitzes der entoptisch wahrnehmbaren Gegenstände im Auge. Archiv für physiolog. Heilkunde VIII. 30. und Nederlandsch Lancet. 558. — Doncan, Onderzoekingen gedaan in het physiolog. Laboratorium etc. Jaar VI. 174. — Helmholtz, physiolog. Optik. p. 148. — Ad. Fick, physiolog. Physik. 340. — H. Müller, Würzburger Verhandlungen. IV. und V. Bd. — Vierordt, Archiv für physiolog. Medizin 1856. 255. — Laiblin, die Wahrnehmung d. Choroidealgefässe etc. Tübingen 1856. — Meissner, Beiträge zur Physiologie d. Sehorgans. Leipzig 1854. p. 76 u. f.

Die Lage der undurchsichtigen Objekte in den verschiedenen Tiefen des Auges kann man ebenfalls beurtheilen entweder nach

Fig. 84.



der entoptischen Parallaxe (Listing), oder nach Brewster und Donders aus der Entfernung, in der ihre doppelt entworfenen Bilder auseinander weichen, wenn unter verschiedenen Winkeln stehende Lichtquellen parallele Strahlen durch das Auge schicken.

Methode von Listing. Wenn wir das Auge *A* Fig. 85 zuerst in eine solche Stellung zur Lichtquelle bringen, dass die Sehachse *AB* dem Gang der Strahlen

Fig. 86.

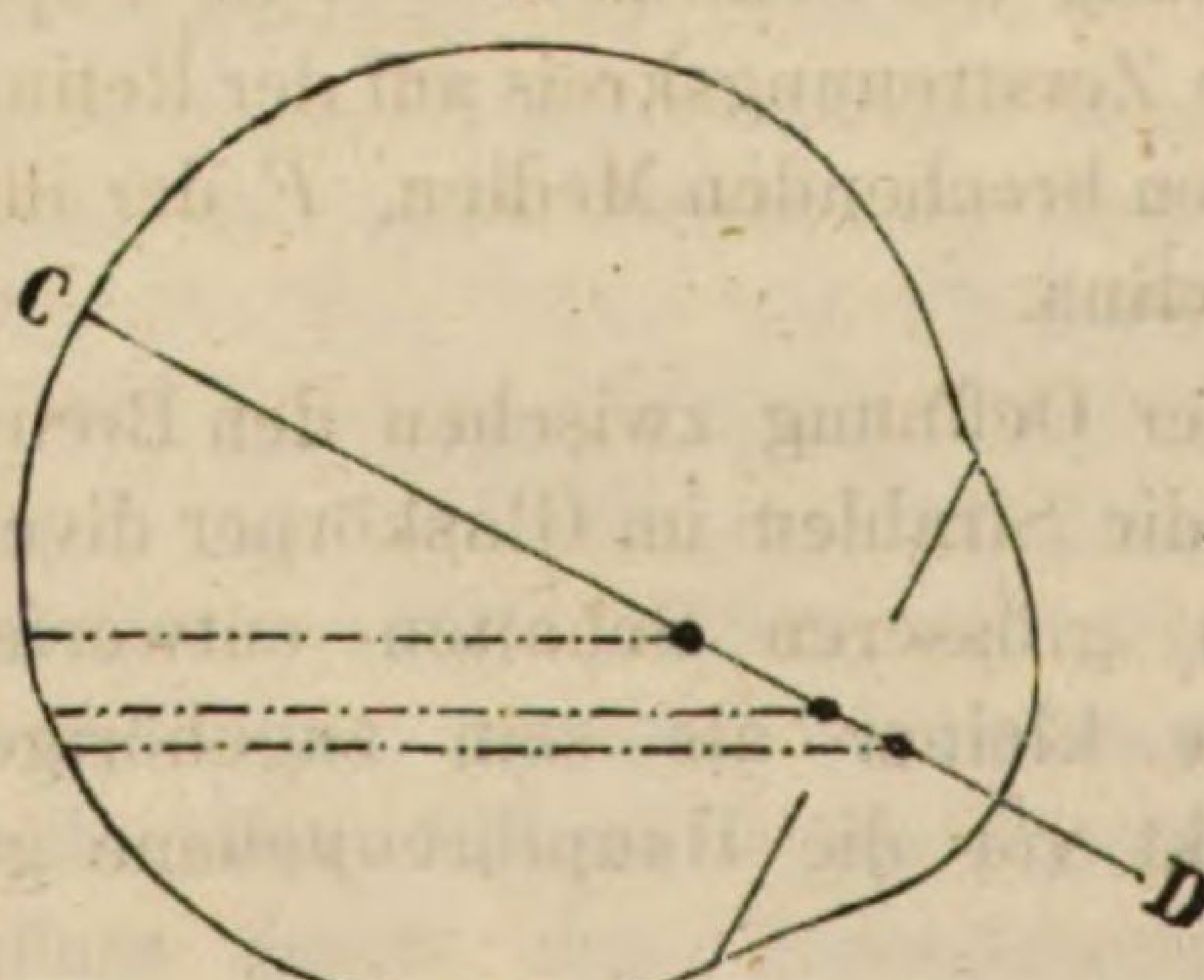
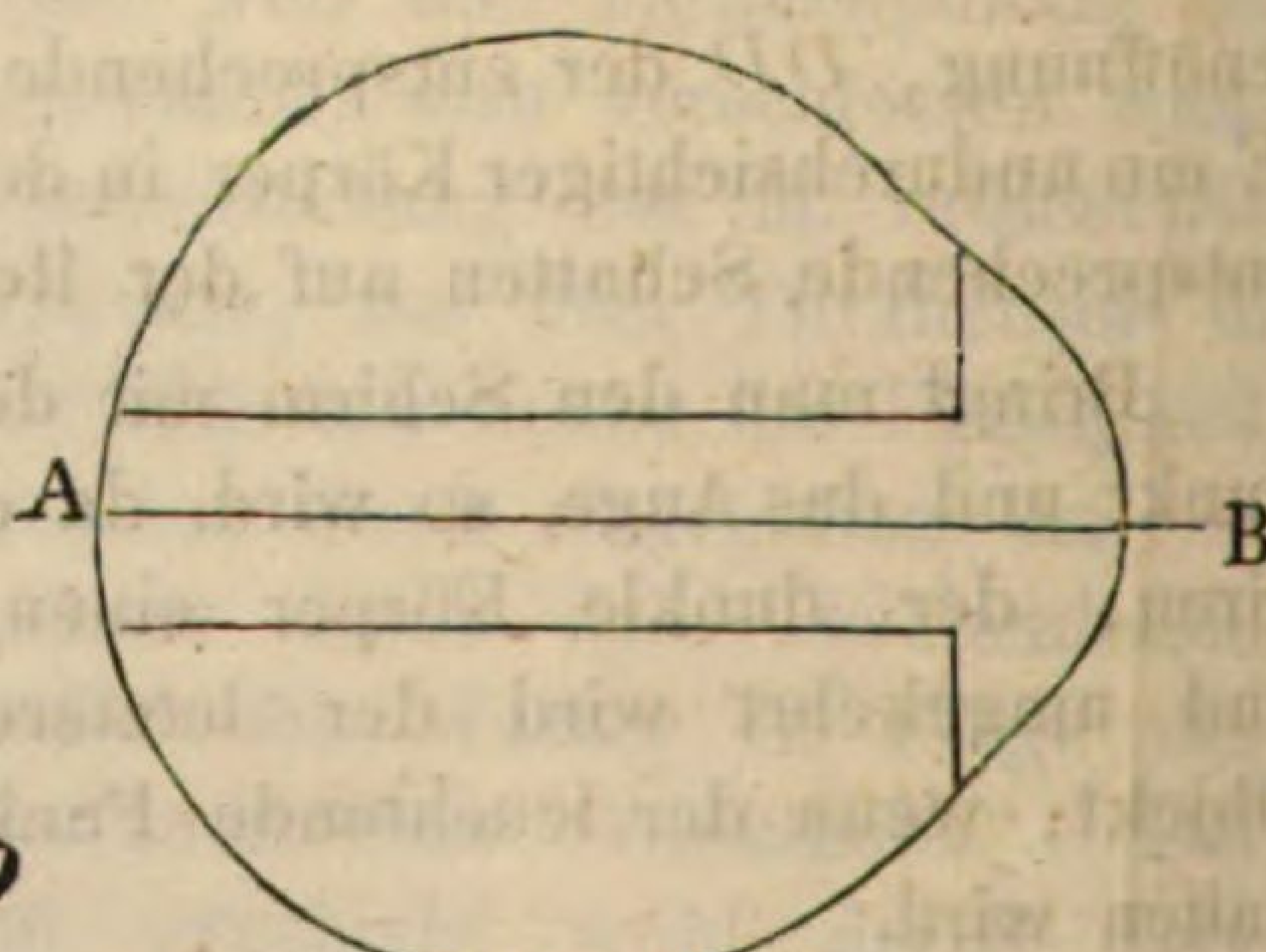


Fig. 85.

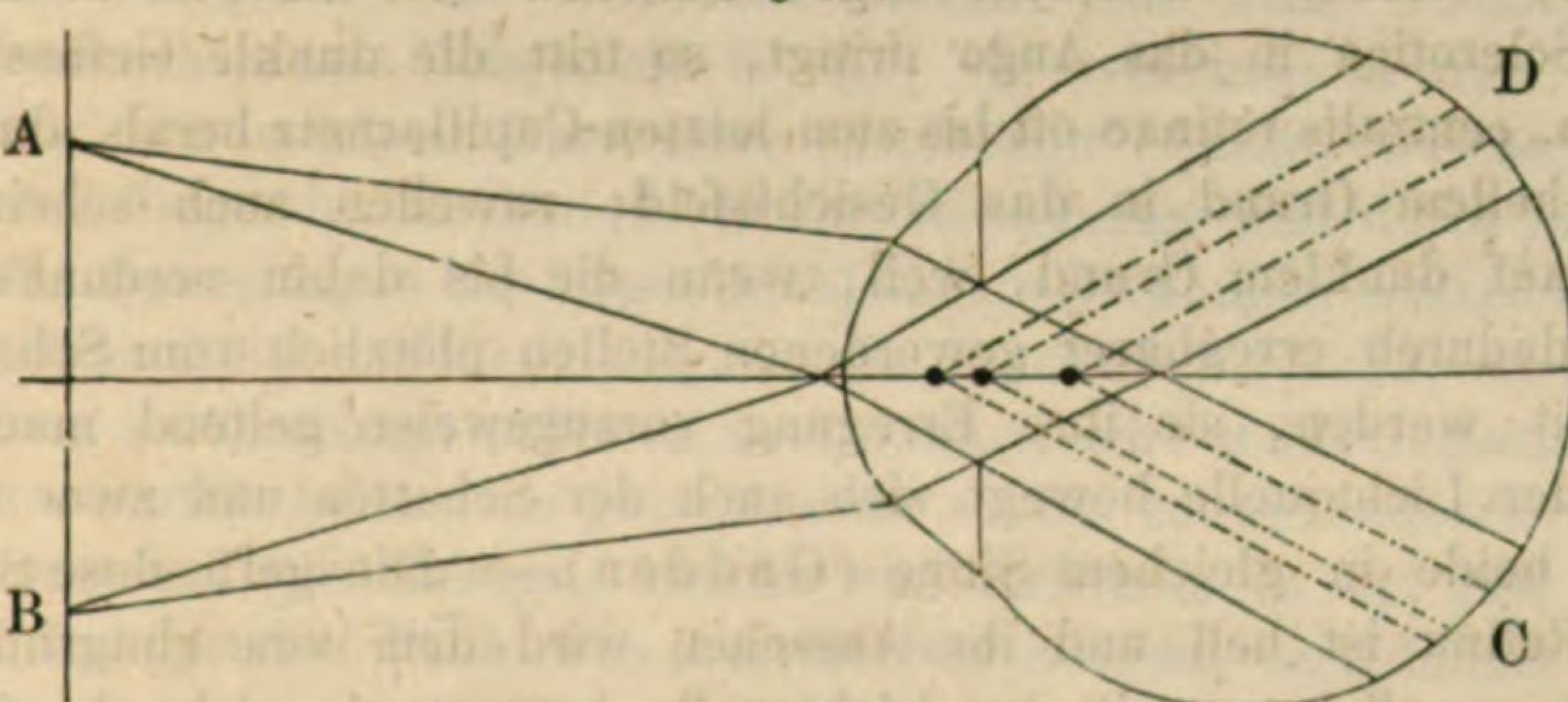


parallel läuft, so werden sämmtliche auf dem Verlauf der Sehachse etwa gelegenen dunklen Punkte nur einen Schatten werfen; dreht man nun bei unveränderter Stellung der Lichtquelle das Auge Fig. 86 so, dass die Sehachse die Richtung *CD* empfängt, so werden die Schatten der in der Sehachse gelegenen dunklen Punkte auseinanderfallen und zwar wird der in der Ebene der Pupille gelegene in den Mittelpunkt des Zerstreuungskreises, der vor der Pupille gelegene über, und der hinter der Pupille

gelegene unter den Mittelpunkt seinen Schatten werfen. Listing nennt diese von den Bewegungen der Sehachse abhängige Lagenveränderung des Schattens eines entoptischen Gegenstandes im Zerstreuungskreis die relative entoptische Parallaxe; demnach ist die relative entoptische Parallaxe Null für Objekte in der Ebene der Pupille. — Ueber die Schätzung der Lage im Zerstreuungskreise, und die Berechnung der Lage der Gegenstände in dem Auge aus der Parallaxe siehe Listing l. c. p. 42 u. f.

Methode von Brewster und Donders. Setzen wir mit diesen beiden Gelehrten gleichzeitig vor das Auge zwei leuchtende Punkte *A*, *B* (in Fig. 87), so entwerfen

Fig. 87.



dieselben zwei Zerstreuungskreise *C*, *D* der Pupille auf der Retina; den Mittelpunkt eines jeden derselben nimmt natürlich der Mittelpunkt der Pupille selbst ein; die vor der Pupillenebene gelegenen Gegenstände bilden sich in beiden Kreisen nach aussen von dem Mittelpunkt; alle hinter der Pupille gelegenen Gegenstände nach innen von demselben ab. — Ueber die Berechnung der wahren Lage siehe Donders p. 41.

Aus den für die Diagnosen der Augenkrankheiten wichtigen Untersuchungen über wirklich bestehende entoptische Gegenstände hat sich ergeben das Vorkommen:

1. von veränderlichen entoptischen Gegenständen und zwar: a) sog. Mücken, kleine im Glaskörper befindliche, bewegliche meist zellenartige Körperchen. b) Das Spectrum mucolacrymale der Hornhaut (Thränenflüssigkeit, Staub und Schleim auf derselben). c) Falten der Hornhaut nach vorausgegangenem Druck. — 2. von beharrlichen und zwar a) Perlflecke; b) dunkle Flecken; c) lichte Streifen; d) dunkle Streifen, welche zum Theil von bestimmten Figuren der Linse herrühren. — Doncan hat die durch das Mikroskop erkennbaren Objekte des Glaskörpers verglichen mit den entoptischen und dadurch die Uebereinstimmung beider nachgewiesen.

b) Schatten der Retinalgefässe; Aderfigur von Purkinje. So lange durch die Pupille heterozentrische Strahlen einfallen, können die sehr feinen Retinalgefässe nur einen verwaschenen Schatten auf die Stäbchenschicht, die lichtempfindende, werfen, der noch um so weniger empfunden werden kann, wenn er längere Zeit auf dieselbe Stelle fällt; denn durch den Aufenthalt im Schatten wird die Erregbarkeit der Netzhaut so sehr gesteigert, dass das sie affizirende Licht dieselbe Stärke der Empfindung erzeugt, wie ein

helleres Licht in den ermüdeteren Nachbarpartien (Helmholtz). Um den Schatten sichtbar zu machen, muss er als Kernschatten auf ungewöhnliche Orte der Retina geworfen, oder noch besser, es muss der Kernschatten auf der Retina hin und her bewegt werden. Nach diesem Prinzip hat ihn Purkinje auf drei verschiedene Arten sichtbar gemacht. Die wissenschaftliche Begründung des Verfahrens ist von H. Müller gegeben. Wir heben nur folgendes daraus hervor. Beleuchtet man die Retina durch ein bewegtes homozentrisches Licht, welches von einem ungewöhnlichen Orte aus, z. B. durch die Sclerotica in das Auge dringt, so tritt die dunkle Gefässfigur der a. centralis retinae oft bis zum letzten Capillarnetz herab, dunkel auf hellem Grund in das Gesichtsfeld; zuweilen auch scheinbar hell auf dunklem Grund, weil, wenn die bis dahin verdunkelten und dadurch erregbarer gewordenen Stellen plötzlich vom Schatten befreit werden, sie ihre Erregung vorzugsweise geltend machen. Mit der Lichtquelle bewegt sich auch der Schatten und zwar thun dies beide in gleichem Sinne (Gudden). — Die gefässlose Stelle der Retina ist hell und ihr Aussehen wird dem von chagrinirten Leder verglichen; mit der Lichtquelle bewegt sie sich ebenfalls, aber was bis dahin noch unerklärt, im umgekehrten Sinne mit ihr (Meissner). Bei einigen Menschen wirft auch der Rand der Netzhautgrube einen Schatten (Burow).

Wenn das Sonnenbild einer Sammellinse von kurzer Brennweite in die sclerotica geworfen wird, so geht Licht zur Genüge durch sie und die choroidea hindurch, um

Fig. 88.

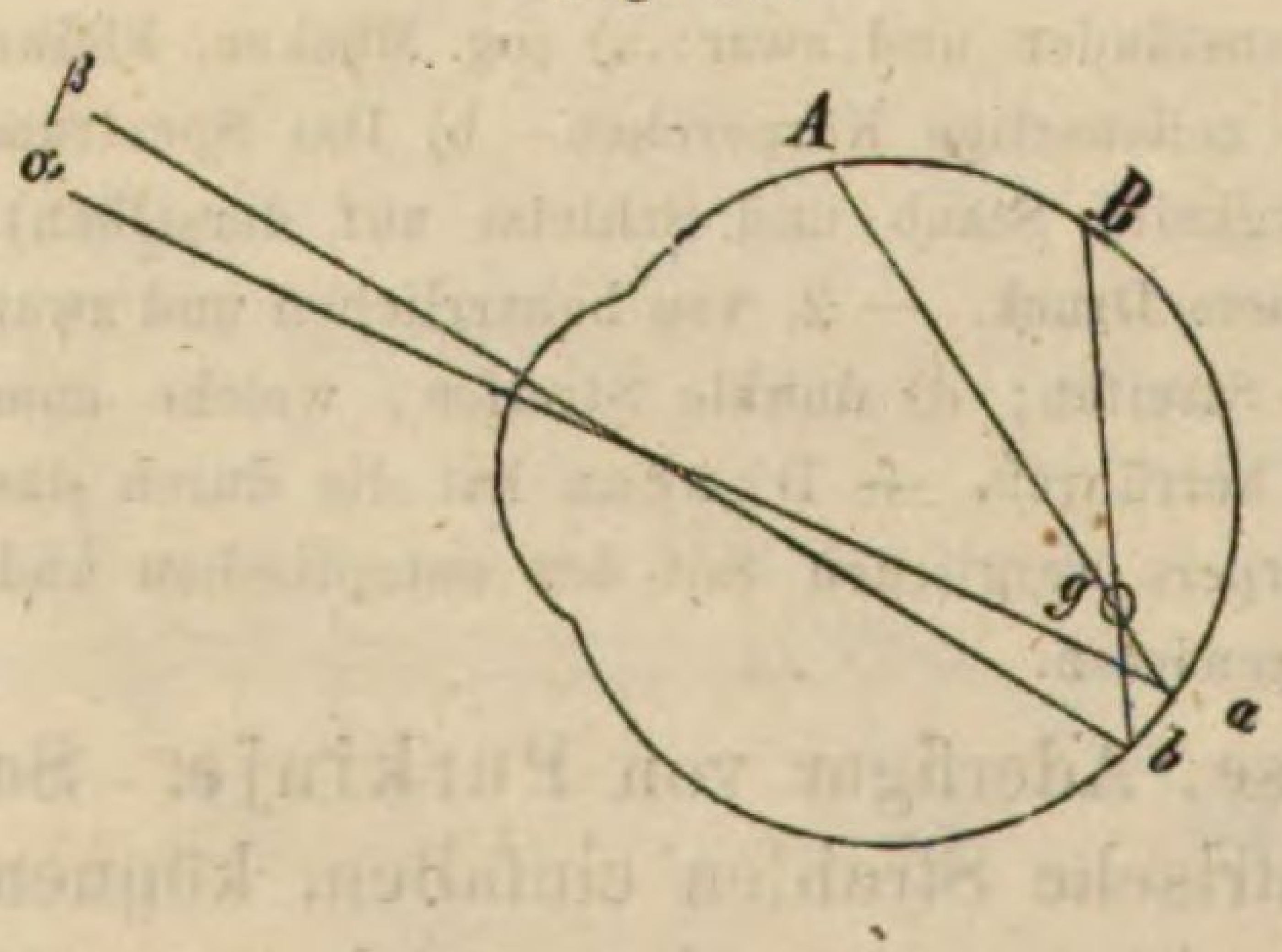
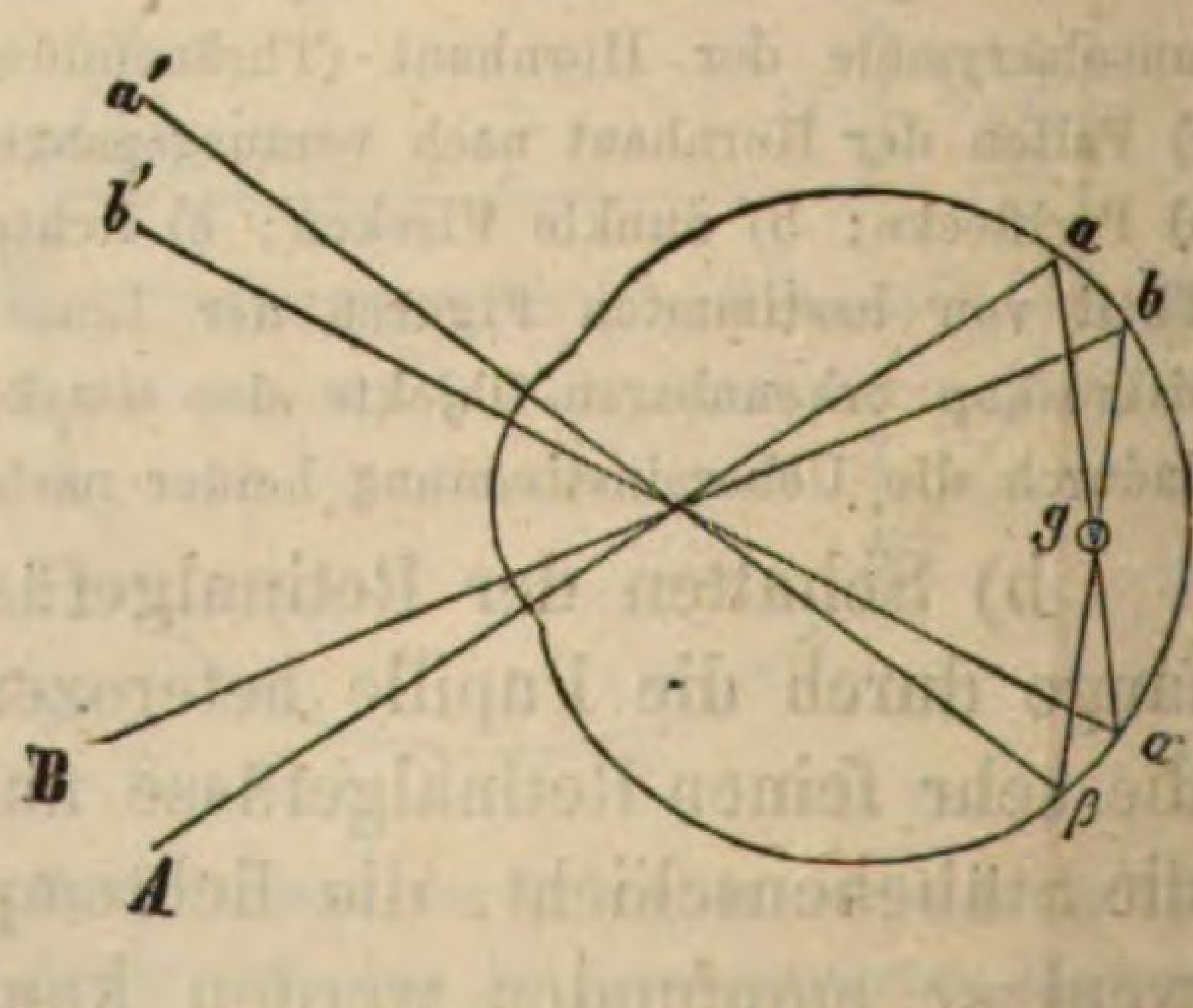


Fig. 89.



die Retina zu beleuchten und von ihren Gefässen einen Schatten zu werfen. Die Bewegungen, welche unter diesen Umständen eintreten, gibt Fig. 88. g ist ein Gefäss; A, a, α sind die Lichtpunkte, der Schatten und Projection desselben im Gesichtsfeld bei der ersten, B, b, β dasselbe bei einer zweiten Stellung der Linse. Bewe-

gungen des Lichtpunktes und des Bildes im Sehfeld gehen gleich. — Man kann zu ganz ähnlichem Ziel gelangen, wenn man seitlich von der Hornhaut, Fig. 89 *(A)*, ein Licht bewegt. Dieses entwirft ein Bild im Auge bei *a* und dieses Lichtbild gibt dann erst wieder Veranlassung zum wahren *(a)* und dem projizirten Schatten *(a')*. Das Lichtbild ist also dann dem Sonnenbild im vorhergehenden Versuch zu vergleichen, die Linsen, welche es entworfen, sind die brechenden Medien des Auges. Endlich kann man auch vor dem Auge einen Schirm mit feiner Oeffnung vor einer recht hellen Fläche hin und herführen und dadurch die Gefässe sichtbar machen.

c) Leuchtende Binnenobjekte. Starrt das für die Ferne eingerichtete Auge auf eine blendende Fläche, eine helle Wolke, ein sonnenbeschienenes Schneefeld u. dgl., so erscheinen in einer Entfernung von wenigen Fuss feine leuchtende Punkte, welche sich vor den fliegenden Mücken durch ihre Lichtmenge und durch rasche von den Bewegungen des Auges unabhängige Drehungen auszeichnen. Ihr Glanz steigt mit der Helligkeit der beschauten Fläche; die Orte, in denen sie überhaupt auftreten, beschränken sich auf das Gefässgebiet der a. centralis retinae, so jedoch, dass sie bis zur gefässlosen Stelle herantreten. Die Bahnen, welche von mehreren in der Zeit aufeinanderfolgenden Pünktchen beschrieben werden, sind immer dieselben und ebenso verhält es sich mit den Geschwindigkeiten und den Bewegungsrichtungen der Pünktchen in einer Bahn. Mit dem Schluss der Augen verschwinden sie alsbald, d. h. sie überdauern nicht die Nachbildzeit. Die Erscheinung legt es nahe, die Entstehnng der leuchtenden Punkte in Verbindung zu bringen mit den Blutkörperchen, welche als kleine Linsen das Licht, welches sie durchsetzt, auf den Stäbchen conzentriren.

An diese so eben geschilderte, jedem Auge sichtbare Erscheinung schliesst sich eine andere, die bis dahin, wie es scheint, willkürlich nur weniger bei Vierordt und Meissner zugänglich ist, obwohl sie mehr zufällig von Steinbuch, Purkinje u. A. wiederholt beobachtet ist. Im Gesichtsfeld treten rundliche, weiss oder gelblich leuchtende Scheiben auf, deren Grösse mit der Entfernung steigt, in welche man sie projizirt, sie sind ebenfalls nur in dem Gefässgebiet der a. centralis ret., in meinem Auge vorzugsweise im Randtheil desselben sichtbar. Nach Vierordt dringen sie aber auch etwas über die Grenzen der macula lutea, entgegen dem Verhalten der Gefässe bei der Purkinje'schen Schattenfigur, aber nicht im Widerspruch mit genauen Injektionspräparaten. Die Scheiben gehen bald nur in einer Reihe und dann langsamer, oder in mehrfachen nebeneinander und dann geschwinder einher, immer aber ist die Geschwindigkeit eine gleichförmige. Die Bahnen der einreihigen sind meist gerad-

linig und die Richtung der Bewegungen läuft theils von und theils zum gelben Fleck (Meissner, Vierordt). Mir verschwinden die Scheiben, wenn ich die Lider schliesse; in den Augen von Laiblin und Vierordt zwar ebenfalls häufig, aber nicht immer, sie konnten sogar zuweilen noch im Finstern gesehen werden. Wenn sie mir erscheinen, machen sie sich in der Erscheinung so bedeutend geltend, dass sie bei jeden Accommodationszustand (des freilich kurzsichtigen Auges) und bei gleichzeitiger Aufmerksamkeit auf andere Objekte sichtbar sind.

Vierordt zwingt sie an dem einen seines Auges hervorzutreten, wenn er mehrere Minuten gegen ein hell erleuchtetes Milchglas starrt und dann mit gespreitzten Fingern (von je 1 C.M. Abstand) vor dem Auge 120 mal in der Minute hin- und herfährt. Meissner sah die Bewegung zufällig, nachdem er längere Zeit in eine hellerleuchte Lampenglocke durch eine enge Oeffnung gestarrt hatte, während er für eine sehr grosse Nähe accommodirte, oder er erzeugt sie sich durch Hinstarren mit einem Auge auf eine helle Fläche, nachdem das erstere vorher gedrückt war; der Versuch gelingt es ihm ebenfalls mit einem Auge besser, als mit dem andern. Mir sind sie nur dann sichtbar, wenn die Augen durch anhaltenden Schnupfen angegriffen waren entweder nach rasch aufeinander folgenden Niesen, oder nach Beugen des Kopfes, namentlich beim Heben von Lasten. In Folge dieser Umstände sind mir die Erscheinungen schon seit mehr als zwanzig Jahren bekannt. — Seit kurzem ist mir aufgefallen, dass sich zuweilen auch einzelne Scheiben im obern Theil des Gesichtsfeldes (d. h. im untern der Retina) bei einbrechender Abenddämmerung einfinden, wenn das Auge, das bis dahin durch die breite Krempe des Hutes beschattet war, plötzlich durch Erheben des gesenkten Kopfes, oder der Krempe beleuchtet wird. — Jeder, der die Beobachtung selbst einmal gemacht hat, erklärt sogleich die Scheiben für Blutkörperchen. Wie sich dieselben aber sichtbar machen, ob durch Druck, oder nur bei besondern Zuständen des Blutstroms und der Empfindlichkeit der Retina u. s. w. ist nicht anzugeben.

E. Gehör.

Der Gehörnerv wird auf eine so besondere Weise vom Felsenbein umschlossen, dass er der Einwirkung der grössern Zahl von allgemeinen Nervenerregern ganz entzogen ist. Vorzugsweise zugänglich ist er nur einer spezifischen Art von Erschütterung der ponderabeln Massen, welche unter dem Namen der Schallwellen bekannt ist. Die allgemeinsten Eigenschaften der Schallwellen und die Leitung derselben durch das Gehörorgan zum Nerven werden demnach zu untersuchen sein, bevor wir den durch sie erregten Empfindungen unsere Aufmerksamkeit schenken.

Einleitende Betrachtungen über die dem Schalle zu Grunde liegenden Bewegungen.

Die Diffusionserscheinungen fanden wir nur erklärlich unter der Voraussetzung, dass das, was unseren Sinnen als eine undurchdringliche geschlossene Masse erscheint,

eine Zusammenhäufung äusserst kleiner noch durch Zwischenräume von einander getrennter Theilchen, der Molekeln, sei. Diese Vorstellung von der Anordnung der Massen erhält ihre Bestätigung und ihre noch genauere Bestimmung durch die Thatsachen der Elastizitätslehre. Denn diese erweissen, dass ganz allgemein einem jedem Molekel innerhalb der Masse, der es angehört, ein bestimmter Ort in einer gemessenen Entfernung von seinen Nachbarmolekeln angewiesen sei und zwar in Folge von den anziehenden und abstossenden Wirkungen, welche durch diese Nachbarn ausgeübt werden. Nur durch diese Annahme wird die Thatsache verständlich, dass beides, das allseitige Zusammendrücken und das allseitige Auseinanderzerren einer Masse, Widerstände erzeugt, welche wachsen ebensowohl mit der Abnahme, als mit der Zunahme des ursprünglich von der Masse eingenommenen Raumes, oder im Sinne unserer Anschauung ausgedrückt, mit der gegenseitigen Näherung oder Entfernung der Molekeln. Indem wir die Thatsachen der Elastizität und namentlich die Press- und Ausdehnbarkeit der verschiedenen Massen nach dieser Richtung hin deuten, lehren sie uns ferner, dass die Abstände der Molekeln, und die absoluten und relativen Werthe der Kräfte, welche den Ort derselben bestimmen, weder bei verschiedenen Massen noch jedesmal nach verschiedenen Richtungen innerhalb einer Masse dieselben sind.

Aus allem diesem folgt die durch die Beobachtung bestätigte Ableitung, dass sich die einzelnen Stücke einer scheinbar zusammenhängenden Masse unabhängig von einander müssen bewegen können; diese Beweglichkeit der einzelnen Theile einer Masse gegeneinander, oder schärfer ausgedrückt, der Spielraum und die Richtung, in welcher die Verschiebung der Molekeln möglich und die Kräfte, welche zu derselben nöthig sind, muss den Elastizitätserscheinungen entsprechend mit der Natur der Masse sehr wechseln; diese Mannigfaltigkeit der Erscheinung liegt aber offenbar zwischen zwei Grenzfällen eingeschlossen. Entweder die einer Masse zugehörigen Theilchen verschieben sich aneinander ohne ihren Abstand zu ändern, oder sie ändern den letztern ohne ihre Lagenrichtung aufzugeben. In dem erstern dieser Fälle, der vorzugsweise den sog. nicht zusammendrückbaren Körpern angehört, werden die Bewegungen der einzelnen Stücke einer Masse zu Formveränderungen der Grenzen dieses letztern führen, wie dieses z. B. am Wasser sichtbar ist, während die zweite Art von Bewegung Verdichtungen und Verdünnungen der Masse erzeugt, wobei die sichtbare Grenze der Masse möglicher Weise vollkommen unverändert sich erhalten kann.

Ueber diese Bewegungen, welche unter gewissen Voraussetzungen die schallerzeugenden sind, lassen sich noch einige Mittheilungen machen, welche zum Verständniss der Leistungen der Gehörwerkzeuge nicht ohne Bedeutung sein dürften. — 1. Jede Bewegung, welche einem beschränkten Stücke einer zusammenhängenden Masse unabhängig von den ihm benachbarten mitgetheilt wird, erhält bei mehr als momentan dauerndem Bestehen eine ab- oder zunehmende, eine ungleichförmige, niemals eine gleichförmige Geschwindigkeit. Die Allgemeingiltigkeit dieser Behauptung ist sogleich einleuchtend, wenn man erwägt, dass jedes innerhalb der Masse sich bewegende Theilchen auf seinem Wege von den Nachbarn entweder gehemmt oder unterstützt wird. Gehemmt aber muss es werden, wenn es sich über die Grenzen des Normalabstandes von einem Theil seiner Nachbarn zu entfernen und einem andern Theil derselben zu nähern sucht. Beschleunigt dagegen, wenn es durch eine stossende Gewalt aus seiner normalen Lage entfernt in diese zurückzukehren strebt, wobei es sowohl im gleichen Sinne von den Theilen, denen es sich allzusehr genähert, abgestossen, als auch von denen angezogen wird, von welchen

es sich allzusehr entfernt hatte. 2. Die Zeit, welche ein Theilchen nöthig haben wird, um eine solche Phase der Bewegung zu vollenden, d. h. um von einem gewissen Maximum der Geschwindigkeit auf diejenige von Null zu gelangen, wird insofern, als wir das Molekel als die Masseneinheit ansehen, abhängig sein von der Zeitdauer des Stosses, welcher das Molekel aus seiner Lage zu entfernen strebt, und von der Stärke der zwischen den Molekeln bestehenden Anziehung und Abstossung, oder wie man sich auch ausdrückt, dem Grade der Spannung, welcher in der Masse vorhanden ist. Denn offenbar wird, alles Andere gleichgesetzt, ein Molekel um so länger auf seiner Bahn verharren, je allmäliger und andauernder der Stoss wirkt, welcher dasselbe aus seiner Normallage entfernt, und umgekehrt wird, alles Andere gleichgesetzt, die Bewegung, welche ein momentan wirkender Stoss einem Molekel mittheilt, um so rascher vollendet sein, je energischer der Widerstand ist, den die umgebenden Molekeln dem Gang der ursprünglich bewegten entgegensetzen, oder je grösser die Gewalt ist, mit der sie das aus seiner ursprünglichen Lage entfernte Molekel wieder in dieselbe zurückzuziehen streben. Ausserdem dürfte auch das, was wir Spannung nennen, insofern bestimmend für die Zeit wirken, während welcher ein Molekel eine Phase seiner Bewegung vollendet, als von ihr auch die Ausdehnung des Weges abhängt, den ein Theil der Masse unabhängig von seinem Nachbar durchlaufen kann. — 3. Die Bewegung, welche in einem beschränkten Stücke einer zusammenhängenden Masse eingeleitet wird, muss sich allmälig auch auf die benachbarten Stücke übertragen. Dieses ergibt sich mit Nothwendigkeit daraus, weil jedes von seinem Orte innerhalb der Masse bewegte Molekel seine Nachbarn entweder stossen oder ziehen muss, wodurch es unmittelbar einen Theil seiner bewegenden Kräfte an dieselben abgibt. Bei dieser Mittheilung von Bewegung kommt in Betracht die Uebertragung resp. Vertheilung der Kräfte, die Geschwindigkeit und die Richtung der Mittheilung. — Rücksichtlich der Kraft der Uebertragung gilt hier, wie überall, die Regel, dass das Produkt aus Geschwindigkeit und Masse immer erhalten*) bleiben muss, so dass, wenn die Schwingung von einer geringeren auf eine grössere Zahl von Molekeln übergeht, die Schwingungsintensität jedes einzelnen vermindert wird. Aus dieser Regel und der andern vorher erwähnten, dass die Bewegung des einzelnen Molekels eine steigende und bis auf Null fallende ist, folgt aber, dass sich die Bewegung in zeitlicher Reihenfolge durch die ganze Masse verbreiten muss. — Die Mittheilungsgeschwindigkeit, d. h. die Zeit, welche nothwendig ist, damit die Bewegung von einem Theilchen auf ein anderes übertrete, muss nun nach allem vorhergehenden abhängig gedacht werden von dem Werthe der beschleunigenden Kräfte, unter deren Einfluss die einzelnen Theilchen schwingen, und der Art der Verknüpfung dieser letztern und namentlich von der Elastizität, oder anders ausgedrückt von der Grösse des Spielraums, welcher jedem einzelnen Theilchen für seine selbstständigen Bewegungen zukommt. — Diesen an und für sich selbstverständlichen Betrachtungen entgegen lehrt nun die Erfahrung, dass nur in einer beschränkten Zahl von Fällen z. B. bei den fortschreitenden Bewegungen im Wasser mit freier Oberfläche, bei den Beugungswellen, u. s. w. beide der angegebenen Elemente von Einfluss sind, während in andern z. B. bei der Fortpflanzung der Verdichtungswellen des Wassers u. s. w. die Schwingungsintensität des einzelnen Theilchens einzig und allein von dem Werthe der Elastizität abhängt. Diese Erfahrung scheint dahin gedeutet werden zu müssen, dass in diesen letztern

*) Begreiflich bleibt aber innerhalb einer begrenzten Masse dieses Produkt nur so lange unverändert, als dieselbe keine bewegenden Kräfte jenseits ihrer Grenzen abgibt.

Fällen der Zusammenhang der einzelnen Theilchen in der Masse sich als ein so inniger ausweisst, dass auch bei einer schon verschwindend kleinen Ortsveränderung eines Theilchens die benachbarten mit in die Bewegung gezogen werden, eine Ortsveränderung, welche schon nach einer verschwindend kleinen Zeit erreicht wird. — Die Richtung der Mittheilung anlangend, so muss entsprechend der allseitig gleichen oder ungleichen Elastizität die Bewegungsmittheilung innerhalb der Masse entweder nach allen Seiten hin mit gleicher Geschwindigkeit und Kraft vor sich gehen oder nach einzelnen Richtungen vorzugsweise stark und schnell geschehen. — 4. Wenn nun, wie es häufig vorkommt, die Schwingungsdauer eines Theilchens länger anhält, als die Zeit, welche nothwendig ist, damit sich die Bewegung von ihm auf seine Nachbarn mittheile, so folgt daraus, dass bei räumlich noch so beschränktem Anstoss einer Masse doch bald ein grösserer Abschnitt derselben gleichzeitig in Bewegung treten wird. Da aber die Bewegung der Theilchen, welche auf einen momentan wirkenden Stoss folgt, immer eine schwingende ist, welche mit abnehmender und dann steigender Geschwindigkeit das Theilchen von seiner ursprünglichen Lagerungsstätte entfernt und dasselbe wieder dahin zurückführt, so müssen auch gleichzeitig immer eine Zahl von Theilchen nach einer Richtung schwingen. — Belegt man eine solche hin- und hergehende Schwingung mit dem Namen der Wellenbewegung, und nennt man insbesondere die eine Wegrichtung die aufsteigende oder positive und die andere die absteigende oder negative, so kann man den obigen Satz auch dahin ausdrücken, dass an einer und derselben Wellenbewegung gleichzeitig viele Molekeln Antheil nehmen. Mit Hilfe der schon entwickelten Grundsätze wird es nun anzugeben sein, wovon die Zahl der nach einer Richtung schwingenden Theile, oder die Wellenlänge abhängig sein muss; denn offenbar wird sie wachsen mit der Zeit, welche das erste und somit jedes folgende Theilchen zur Vollendung seiner Schwingung nöthig hat, und mit der Mittheilungsgeschwindigkeit, welche der Masse zukommt, innerhalb deren die Bewegung statt fand. — 5. Bis dahin wurde vorausgesetzt, dass die Fortleitung der Bewegung durch eine homogene Masse geschehe; die Erscheinungen gestalten sich nun aber anders, wenn eine Bewegung zwischen heterogenen Massen übertragen werden soll. Hier, an den Grenzen der Massen treten nämlich andere Bedingungen ein, insofern, als nun die stossenden und gestossenen Molekeln keine Cohäsionswirkungen auf einander üben, und insofern, als der Stoss sich zwischen Molekelreihen mittheilt, deren einzelne Glieder weder im gleichen Abstand von einander stehen, noch durch gleiche Kräfte an ihren Lagerungsstätten erhalten werden. Denn es kann, wie schon erwähnt, vom mechanischen Gesichtspunkte aus, der hier allein in Betracht kommt, das Eigenthümliche, das Be-Bestimmende der Massen, nur in dem Unterschiede ihrer Dichtigkeit und ihrer Elastizität, oder mit andern Worten in den Differenzen der Molekelabstände und der anziehenden und abstossenden Kräfte gesucht werden. Die Folgen dieser veränderten Bedingungen sind nun ungefähr folgende: a) Innerhalb der homogenen Masse verbreitete sich die Schwingung von Molekel zu Molekel in der Art, dass bei der fortschreitenden Bewegung das der Zeit nach zuerst schwingende allmälig zur Ruhe kommt, während andere in die Bewegung eintraten, mit andern Worten, es hatte ein Molekel nach Vollendung seiner Schwingung seine ganze lebendige Kraft an die Nachbarn abgegeben. Bei der Fortleitung des Stosses zwischen den Molekeln heterogener Massen geschieht dieses nun nicht. Die Grenze der heterogenen Masse überschreitet nur ein Theil der bewegenden Kräfte, während ein anderer Theil derselben in der stossenden Masse zurückbleibt, so dass nun gleichzeitig beide Massen an der Bewegung sich betheiligen. Diese Thatsache spricht man gewöhnlich so aus: es setze sich dem Uebergang der

Kräfte über die Grenzen heterogener Massen ein Widerstand entgegen, oder, wenn man sich im Ausdruck an die Erscheinung enger anschliessen will, auch so, dass die Schwingung an der Grenze heterogener Massen zurückgeworfen werde. Dieser letztere Ausdruck fusst darauf, dass die Bewegung, welche schwingend zur Grenze des ersten Mittels hinlief und dann nur theilweise in das neue Mittel eintrat, von dieser Grenze auch wieder gegen die ursprünglich bewegte Masse zurücktritt, und so in verkehrter Richtung noch einmal die Bahn durchzieht, die sie schon einmal in gerader Richtung durchwandert hatte*). Der innere Zusammenhang dieser Erscheinung, dass sich die Bewegung schwieriger zwischen den Molekeln heterogener, als denen homogener Massen mittheilt, leitet sich aus den obigen Voraussetzungen in jedem einzelnen Falle ab. Nehmen wir z. B. an, die Molekeln der einen Masse seien sehr beweglich gegen einander, während die einer andern als nahebei feststehend anzusehen wären, so würden, wenn die Molekeln der letztern Masse auf die der erstern stiessen, sich die leicht beweglichen schon bei Beginn des Stosses von den unbeweglichen entfernen, so dass nach dem Verfluss einer sehr kurzen Zeit gar keine Berührung und somit auch keine Stossmittheilung mehr statt fände. Ereignete es sich dagegen, dass die beweglichen Molekeln schwingend auf die unbeweglichen träfen, so müsste, da die letztern nicht ausweichen könnten, sehr bald an der Grenze eine Spannung entstehen, die sich so lange steigern würde, als die Kraft, welche die Geschwindigkeit der beweglichen Molekeln in der Richtung gegen die unbeweglichen erzeugt, gleich wäre der gerade vorhandenen Spannung. Von diesem Augenblick an wird die Spannung, welche nach beiden Seiten hin treibend wirkt, die beweglichen Molekeln wieder von der Grenze zurük schleudern; mit einem Worte, es werden sich die letzten Molekeln verhalten, wie ein elastischer Ball, der auf einen festen Boden geworfen wird. — Hieraus dürfte nun klar sein, dass die Summe lebendiger Kräfte, welche bei jeder Schwingung das Molekel an den heterogenen Nachbar abgibt, Schwingungsintensität und Berührungsfläche gleichgesetzt, wachsen wird mit der steigenden Uebereinstimmung in der Dichtigkeit und Elastizität der in Berührung befindlichen Stoffe. — b) Der Anstoss, welchen die schwingenden Molekeln des einen denen des andern Stoffes mittheilen, unterscheidet sich seinen Folgen nach im wesentlichen durchaus nicht von jeder andern schwingungserzeugenden Bewegungsanregung. Daraus ergibt sich in Uebereinstimmung mit den früher geführten Betrachtungen, dass die Art der Schwingung im zweiten Mittel (Beugung oder Verdichtung) ganz unabhängig von derjenigen im ersten ist, ferner, dass unter den früher bezeichneten Bedingungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im neuen Mittel unabhängig vom Stosse ist, indem sie nur bedingt wird von der Verkettung der Molekeln des zweiten Stoffes; ferner, dass die Schwingungsdauer des angestossenen Molekels abhängig ist von der Dauer des Stosses (also der Schwingungsdauer im ersten Medium) und der Verkettung der Molekeln der angestossenen Stoffe, und endlich, dass die Wellenlänge von dieser Schwingungsdauer und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit bestimmt wird.

Schallleitung zum Gehörnerven.

Da die empfindungerregenden Zustände des Gehörnerven nur durch die denselben zunächst berührenden Theile der Gehörwerk-

*) Die Thatsache der Reflexion bedarf keiner besonderen Erläuterung mehr, wenn einmal feststeht, dass die Grenzpartikel nicht ihre ganze Kraft an die neue Masse abgibt; offenbar wird dann nämlich das schwingende Endtheilchen die ihm verbliebene Bewegung auf die homogenen Nachbarn übertragen, u. s. w.

zeuge ausgelöst werden können, so hat die Untersuchung über das Entsprechen der Schallbewegung und der Empfindung zunächst die Aufgabe, die Veränderungen zu studiren, welche die Schallbewegung in den Hüllen des Gehörnerven (das Wort Hüllen im weitesten Sinne genommen) erweckt. — Zu dem Hörnerven oder zu dessen nächster Umgebung dringt nun die im Weltenraum erzeugte Schallbewegung auf zwei Wegen: durch die Kopfknochen im Allgemeinen und dann durch die Paukenhöhle. — Auf beiden Wegen muss die Schallwelle besonders verfolgt werden.

Die Aufgabe der physiologischen Akustik würde als gelöst anzusehen sein, wenn man das Gesetz und den absoluten Werth der Schwingung des schallenden Theilchens vor dem Eintritt in das Trommelfell, beziehungsweise in die Kopfknochen und nach seinem Uebergang in die Gehörsäckchen und die Spiralplatte der Schnecke kennte: In Ermangelung besserer Verfahrungsarten schliesst man auf die Grösse und Form der Schallwelle vor ihrem Eintritt in das Ohr (was aber nur in seltenen Fällen mit einiger Sicherheit möglich) aus dem Modus und der Stärke des Anstosses, welcher im schallenden Körper die Schwingung veranlasst, und auf die Art und Stärke der übergegangenen Welle erlaubt man sich zu schliessen aus der Tonempfindung, ein Verfahren, welches sehr unzuverlässig erscheint, wenn man überlegt, dass der Schall gar nicht als Bewegung empfunden wird. — Den Antheil, welchen die einzelnen Stücke des schallleitenden Apparates an dem Uebergang nehmen, beurtheilt man aus Erscheinungen, welche an physikalischen Apparaten beobachtet sind, die häufig genug eine nur gar zu entfernte Aehnlichkeit mit den Gehörwerkzeugen bieten.

Demgemäss darf man in Folgendem nur sehr allgemein gehaltene, meist unsichere Hypothesen erwarten.

A) Schallleitung durch die Paukenhöhle.

Die Betrachtung gliedert sich hier naturgemäss der Art, dass sie die Aufnahme und Veränderung der Schallwellen in der Ohrmuschel, in dem äussern Gehörgang, in dem Paukenfell und den Gehörknöchelchen in der membran. fenestr. ovalis und endlich in dem Labyrinthwasser und den Verbreitungsbezirken der Gehörnerven untersucht.

Wir setzen hier zugleich ein für allemal den im gewöhnlichsten eintretenden Fall voraus, dass die Schallwelle aus der Luft in das Gehörgan dringt.

1. Ohrmuschel *). Ueber ihre Funktionen als schallleitendes Organ gehen folgende Vermuthungen. a) die Schallwellen der Luft gehen zum geringsten Theil in ihre Substanz ein; sie werden reflektirt und namentlich werden die in die concha fallenden Wellen gegen den tragus und von diesem in den Gehörgang geworfen.

*) Esser, Annales des sciences naturelles. F. XXVI. 1832. Valentin, Physiologie II. Bd. 243.

Diese Hypothese gründet sich auf die Gestaltung des äusseren Ohres und auf die Thatsache, dass durch eine Veränderung des Neigungswinkels der Ohrmuschel gegen den Kopf (resp. den Gehörgang) die Schärfe des Gehörs gemindert oder vermehrt werden kann. Nach Buchanan soll ein Neigungswinkel von 25° bis 45° gegen die pars mastoidea am günstigsten wirken. So unbestreitbar es ist, dass die in die concha dringenden Wellen je nach ihrer Richtung mehr oder weniger gegen den tragus und von diesem in den meatus auditorius fallen, und damit die Schallbewegung im meatus verstärken, so unzweifelhaft ist es auch, dass eine reichliche Masse der auf die ganze Muschel treffenden Wellenzüge niemals durch Reflexion in den Gehörgang eindringt (Esser). — b) Aus diesem Grunde und zugleich wegen der Dünne und Elastizität des äussern Ohres vermuthet Savart, dass die Wellen in seine Substanz eindringen und von allen Seiten gegen die schmale Wurzel zusammentreffen. Von der Wurzel der Ohrmuschel sollen sie sich theilweise durch den Kopf zerstreuen, zum Theil sollen sie aber in dem knöchernen Gehörgang und das sich hier anheftende Trommelfell übergehen. Unter diesem Gesichtspunkte erhalten die vielfachen Unebenheiten des äussern Ohrs eine besondere Bedeutung, indem sie an demselben für alle Richtungen der Schallwellen Flächen erzielen, welche zur Ohrmuschel senkrecht stehen, d. h. den für die Uebertragung der Bewegung günstigsten Einfallswinkel bieten. Daraus würde folgen, dass mit der Verstreichung der Unebenheiten und dem Steifen der Ohrplatte das Ohr an Empfänglichkeit verlieren müsste. Diese Forderung hat Schneider*) bestätigt, dadurch, dass er mit Erhaltung des Gehörgangs die Ohrmuschel mit Schmierwachs ausfüllte; war nur die concha geebnet, so war die Schallübertragung weniger gehemmt, als wenn auch die Räume zwischen den helices und zwischen Kopfknochen und hinterer Muschel ausgefüllt waren.

Die Funktionen des äusseren Ohres für die Leitung der Schallwellen sind möglicherweise viel mannigfaltigere, als die hier angegebenen; doch sind sie schwerlich von fundamentaler Wichtigkeit für das Hören, wie aus der medizinischen Erfahrungen hervorgeht, dass ein Verlust des äusseren Ohres das Hören nicht wesentlich beeinträchtigt.

Man bezeichnet das äussere Ohr auch sehr häufig als einen Resonanzapparat. Nun gibt es bekanntlich (Wellenlehre der Gebrüder Weber p. 530) zwei Arten von Resonanz;

*) Schneider in Meissner's Jahresbericht für 1856 p. 576.

eine derselben bewirkt nur eine vollkommenere Mittheilung der tönenden Schwingung eines Mittels an ein anderes von abweichender Elastizität; die andere dagegen besteht in einer Summirung einer Reihe von Stössen in ein Medium, die es der Zeit nach gesondert empfing, so dass die Theile desselben stärker bewegt werden, als es durch jeden besondern einzelnen Stoss der ursprünglich tönenden Masse möglich war (stehende Schwingung). Danach sieht man nun ein, dass, wenn man das Ohr eine Vorrichtung zum Resonniren nennt, dieses entweder nichts anders bedeutet, als das, was schon im Text erörtert wurde, oder dass man die ganz willkürliche Unterstellung macht, es werde von den Grenzen der Muschel die Schallwelle immer so zurückgeworfen, dass die neu eindringenden immer noch einen Rest sie unterstützender Bewegung vorfinden.

2. Trommelfell. An diesem Ort gelangt die Schallbewegung aus einem luftigen in einen festen Körper. Das Molekel des Trommelfells, welches von einem kleinsten Lufttheilchen angestossen wird, bewegt sich weder mit der Kraft, noch in der Bahn des letztern. Wie weit die Form und Kraft der neuen Schwingung ein Abdruck der erregenden ist, hängt unter Voraussetzung gleicher Eigenschaften des stossenden Molekels ab von dem Elastizitäts- und Spannungsunterschied der Luft und des Trommelfells; Spannung und Elastizität sind aber im Trommelfell veränderlich mit der Zeit, indem sie sich richten nach dem Contraktionszustand, welcher dem m. tensor tympani zukommt, und nicht minder sind sie veränderlich mit dem Ort, in welchem der gestossene Molekel liegt, da die dem Knochen (Trommelfellring und Hammerstiel (?)) näher gelegenen Theilchen weniger leicht beweglich sind, als die entfernteren.

a) Die Form, welche die Wellenfläche des Trommelfells annimmt, wenn eine Luftwelle von der Gestalt einer Kugelschale auf sie trifft, lässt sich wohl schwerlich angeben. Versteht man aber unter Beugungswelle eine so gestaltete Form der Welle, dass die von den Knochen entfernten Theilchen des Trommelfells grössere Excursionen machen, als die ihnen näher gelegenen, so dürfte die Luftwelle in dem Trommelfell eine Beugungswelle erzeugen (Ed. Weber*)).

b) Die Kräfte**) des ursprünglichen, in der Luft vorhandenen Schalles und diejenigen des mitschwingenden Trommelfells beurtheilen wir einerseits nach dem zur Erzeugung des Tons verwendeten Kraftaufwand und anderseits nach der Stärke der Empfindung. Die aus dieser Schätzung gezogenen Vergleiche müssen mangelhaft

*) Ed. Weber, Berichte der Leipziger Gesellschaft der Wissenschaften. Mathem. phys. Klasse 1851. p. 29. — Rinne, Prager Vierteljahrschrift 1855. 1. Bd.

**) Savart sur les usages du tympan. Annal. d. chemie XXVI. Bd. — Seebeck in Repertor. d. Physik v. Dove VIII. Bd. Akustik p. 60 und 103. — Gehler, physikal. Wörterbuch IV. Bd. 1208. u. 1268.

genug sein, da abgesehen von allen früher gemachten Ausstellungen an dem Verfahren die Empfindungswerkzeuge als Messinstrumente zu benutzen, hier noch der besondere Umstand hinzu kommt, dass das Trommelfell nicht das einzige schallleitende Stück zwischen Luft und Nerv darstellt; die Gehörknöchelchen, das Wasser und die Häute des Labyrinths können noch wesentliche Veränderungen an den Gegenständen der Empfindung, d. h. an der Stärke der fortschreitenden Schwingung erzeugen. Trotz dieser Bedenken spricht man, und wie es scheint nicht ohne Unrecht, über die in das Trommelfell übertragenen schallerzeugenden Kräfte Folgendes aus: α) Luftschwingungen von sehr schwachen bewegenden Kräften gehen noch durch das Trommelfell; denn wir hören Töne noch sehr gut, die zu ihrer Erzeugung ein sehr geringes Kraftmaass brauchten. — β) Das Gehörwerkzeug vergleicht Töne, die innerhalb sehr weiter Grenzen verschieden an Höhe und Klang sind, auf ihre relative Intensität. Dieses bedeutet, dass das an das Trommelfell schwingende Luftmolekül immer einen seiner Kraft proportionalen Antheil dem Gehörwerkzeug abgibt, wie auch die Länge der Welle beschaffen sei, die durch jenes Grenzmolekel hindurch geht. Diese merkwürdige Fähigkeit des Ohrs, die eigne Schwingungsperiode seiner elastischen Theile unterzuordnen derjenigen des anstossenden Körpers, ist, wie erwähnt, nicht unbegrenzt; schon bei der gewöhnlichen Spannung des Trommelfells können wir sehr tiefe Töne von einer ausserordentlichen objektiven Stärke doch nur als sehr schwache, und umgekehrt hohe Töne von objektiver Schwäche nur als sehr starke hören. Sollten diese Unterschiede der Hörbarkeit hoher und tiefer Töne nicht von dem Gehörnerven, sondern von dem schallleitenden Apparat und insbesondere vom Trommelfell abhängig sein, so würde es bedeuten, dass das letztere in den bezeichneten Grenzen für höhere Töne leichter, als für tiefe mitschwingt. — Das Anpassungsvermögen des Trommelfells wird aber in noch höherem Maasse beschränkt, wenn es aus seiner normalen Spannung in eine höhere versetzt wird; geschieht dieses ohne gleichzeitige anderweitige Veränderung des Ohrs, so verliert oder vermindert sich wenigstens die bis dahin bestandene Empfindlichkeit für eine grosse Reihe tiefer Töne, während wir umgekehrt schwache hohe Töne stärker als gewöhnlich hören (J. Müller). — Nach Beobachtungen von Wollaston soll auch die umgekehrte Erscheinung eintreten, die nämlich, dass in gewissen Spannungsgraden das Trommelfell seine Fähigkeit einbüsst, durch hohe Töne in Schwingung zu kommen.

Wie der Intensität, so ist auch der Zeit nach das Trommelfell ein genauer Abdruck der Luftschwingung, da die Empfindung des Schalls momentan mit dem objektiven Ende desselben verschwindet; das Trommelfell geräth also nicht in Nachschwingungen, welche die Luftbewegungen im Gehörgang überdauern.

Im Allgemeinen gehen die Schallschwingungen aus der Luft dann am leichtesten in feste Körper über, wenn diese eine membranförmige Gestalt besitzen; dieses erklärt sich daraus, dass in dieser Form der feste Körper der schwingenden Luft eine grosse Fläche bietet, deren Molekeln wie bei allen festen Körpern verdichtet und welche zugleich wegen ihres geringen Widerstandes im Ganzen gebeugt werden kann. Ist die Bewegung einmal in die Membran übergegangen, so wird sie von hier aus nun leicht auch auf feste Stoffe von beliebiger Gestalt, die mit ihr in Berührung sind, übergeführt werden, so dass die Membranen vorzugsweise als Schallvermittler zwischen Luft und festen Körpern angesehen werden können (Savart). Obwohl nun aber allerdings die Schallwellen leichter in eine Membran als in einen Stab, Saite u. s. w. dringen, so geht doch nicht jede Art von Schallbewegung gleich leicht in dieselbe ein; diese Bemerkung gilt namentlich für die tönende Schallbewegung, d. h. für diejenigen Schwingungen, welche in raschen und regelmässig auf einander folgenden Zeiten wiederkehren. Für die Aufnahme der Tonschwingungen in Membranen stehen erfahrungsgemäss die Regeln fest, dass die Töne am vollkommensten eindringen, deren Schwingungszahlen entweder gerade übereinstimmen mit denjenigen des Eigentons der Membran, d. h. mit demjenigen, den diese für sich angeschlagen gibt, oder die wenigstens in einem einfachen Verhältniss zu dem Eigenton stehen. Von allen übrigen Tönen werden wiederum diejenigen am leichtesten aufgenommen, deren Schwingungszahl nicht allzuweit von der des Eigentons der Membran absteht, und unter diesen die höhern besser als die tiefern. Mit diesem Verhalten der Membran steht es in Einklang, dass das Trommelfell bei stärkerer Spannung, wo es einen hohen Eigenton gibt, den tieferen Tönen den Durchgang verwehrt; unbegreiflich erscheint es dagegegen, dass überhaupt einer so grossen Tonreihe der Durchgang gestattet ist. Denn unter allen Umständen müsste eine so kleine Membran von einem so hohen Eigenton schon nicht mehr in merklicher Weise mit so tiefen Tönen, als es in der That geschieht, mitschwingen, oder mindestens durch einen tiefen Ton in sehr viel schwächere Bewegung gesetzt werden, als durch die gleichstarke Schwingung eines hohen Tones. A. Seebeck hat diesen Widerspruch zu lösen versucht. Nach einer von ihm angestellten Betrachtung ist die lebendige Kraft der Mitschwingung, vorausgesetzt, dass man die des erregenden Tons = 1 annimmt, auszudrücken durch einen Bruch, in welchen neben den Schwingungszahlen des erregenden Tons und des Eigentons der Membran auch noch die Widerstände vorkommen, welche die Mittel der Mitschwingung entgegensetzen, die die Membran hinten und vorn umgeben. Namentlich aber stellt der Nenner dieses Bruchs eine Summe dar, die aus zwei Gliedern gebildet ist; im ersten derselben kommt u. A. wesentlich die Differenz der erwähnten Schwingungszahlen vor, im letzten von beiden aber der Widerstand des Mittels, an den die mitschwingende Membran ihre Bewegung übertragen soll. Daraus geht hervor, dass wenn das letzte der additiven Glieder des Nenners, d. h. der Widerstand des zweiten Mittels sehr gross wird, so wird die Mitschwingung zwar eine sehr geringe, aber es verliert zugleich das erste Glied des Nenners wesentlich an seiner Bedeutung, und somit wird die Stärke der Mitschwingung unabhängig von der Tonhöhe. In der That ist nun an das Trommelfell der Hammer

gefügt, der selbst wieder durch Ambos und Steigbügel gegen das Wasser des Labyrinthes andrückt, so dass immer das Trommelfell mit diesen Theilen zugleich schwingen muss; hierdurch wird also ein von der Spannung des Trommelfells unabhängiger Schwingungswiderstand erzeugt, und somit der Grund gegeben für die Erscheinung, dass die Membran von einem hohen Eigenton ebenso leicht mitschwingt für tiefe als für hohe Lufttöne. Diese Vorstellung, welshe theoretisch unangreifbar scheint, nöthigt den Physiologen zu dem Zusatz, dass der Gehörnerv eine ungemeine Empfindlichkeit besitze; denn offenbar ist der Seebeck'schen Meinung gegenüber die von Savart unhaltbar, welche das Trommelfell als eine Vorrichtung bezeichnet, welche den Schall der Luft sehr wenig geschwächt aufnehme; diese Empfindlichkeit würde dann die Schwäche der Trommelfellbewegung zur Erzeugung der Erscheinung, dass wir noch objektiv sehr schwache Schallbewegung vernehmen, ausgleichen.

Spannungen des Trommelfells können auf zwei Wegen willkürlich erzeugt werden: 1. Durch eine Aus- oder Einathmungsbewegung bei geschlossenem Mund und geschlossener Nase mittelst der in die Trommelhöhle durch die tuba Eustachii eingetriebenen oder ausgesogenen Luft; 2. Durch Zusammenziehung des m. tensor tympani, welche von einzelnen Menschen in willkürlicher Sonderung von allen übrigen Muskeln erzeugt werden kann (J. Müller), bei Jedermann aber gleichzeitig mit sehr kräftigen Bewegungen der mm. masseter und temporalis (L. Fick), oder auch bei Schlingbewegungen und reflektorisch nach starken Gehöreindrücken (J. Müller) geschieht. Da somit die Hammermuskeln durch Trommelfellspannung gewissen Tönen den Eintritt verschliessen, so hat man sie auch Tondämpfer genannt und sie mit dem Augenlidschliesser verglichen.

Die Abhängigkeit der Zeit der Trommelfellschwingung von derjenigen des erregenden Tones bringt A. Seebeck ebenfalls in Beziehung zu der Anlagerung der Gehörknöchelchen an das Trommelfell; offenbar mit Recht, weil die Schwingung mittelst dieser Vorrichtung leicht an die übrigen festen Theile des Kopfes weiter gegeben werden kann, und sie somit das beste Mittel darstellt, um das Trommelfell zu beruhigen. — Eine andere Erklärung versucht Rinne *), wonach die Interferenz der beiden um den Hammerhandgriff gelegenen Partien das Nachklingen verhindern soll. Wie das möglich ist, ist allerdings schwer einzusehen. — Ueber die Wirkungen des Wassergehaltes der Trommelfellmembran und über die Folge seiner Stellung und Form siehe Savart l. c. p. 26 und Gehler's physikal. Wörterbuch l. c. p. 1208.

3. Gehörknöchelchen. Der Betrachtung der akustischen Wirkungen der Gehörknöchelchen muss diejenige ihrer Gelenkbewegungen vorausgehen.

Bewegungen jedes einzelnen Knöchelchens für sich. Die Achse, um welche sich der Hammer bei einer gesonderten Bewegung drehen müsste, ist bestimmt durch eine Linie, welche vermöge der Anheftung des proc. folianus am Paukenring und durch die Form der Gelenkfläche des Kopfes gegeben ist. Diese Bewegung muss geschehen, wenn der Ambos festgestellt ist, während am Hammer gezogen wird. Die Bewegung des Hammers um den Ambos wird ausser den am Griff und Kopf des Hammers festsitzenden

*) Prager Vierteljahrschrift 1855. 1. Bd. p. 79 u. f.

Bändern gehemmt durch die sattelförmige Gestalt der Gelenkfläche zwischen Hammer und Ambos. — Der Ambos ist nur beweglich, wenn er gleichzeitig an mehreren Gelenkflächen seine Lage ändert; denn er ist an drei Orten (den Gelenkflächen zwischen Körper und den beiden Fortsätzen) festgestellt, welche nicht in einer Linie liegen. Da ihm kein Muskel zukommt, so werden diese Bewegungen nur möglich sein, wenn sich gleichzeitig die beiden andern Knochen an ihm verrücken. — Die isolirte Bewegung des Steigbügels ist möglich, wenn der Ambos feststeht. Die Achse ist wahrscheinlich durch das Köpfchen des Steigbügels und den hintern Winkel des Fusstrittes zu ziehen, so dass die Bewegung sich als ein Erheben und Senken des vordern Endes der Fusstrittplatte darstellt. Diese Bewegung wird beschränkt durch das ringförmige Trittband und die Nachgiebigkeit der membrana fenestrae rotundae; der Einfluss dieses letztern macht sich nämlich dadurch geltend, dass die Membran des eirunden Lochs, da sie immer von Labyrinth-Wasser bedeckt ist, nur um so viel nach innen und aussen ausweichen kann, als die Nachgiebigkeit des Wassers beträgt; diese letztere ist aber abhängig von der Nachgiebigkeit der Membran des runden Fensters (Ed. Weber); diese Haut soll nach Scarpa*) in der Ruhelage des Steigbügels durch den Druck der Luft trichterartig nach der Schnecke hin vertieft sein, so dass sie, wenn der Steigbügel in das ovale Fenster gedrückt wird, erschlafft. Die Bewegung wird ausgeführt durch den m. stapedius, welcher senkrecht gegen die bezeichnete Achse sitzt und dem Lauf seiner Fasern gemäss (von hinten nach vorn) das vordere Ende der Fussplatte aus dem runden Fenster hebeln muss. Der Umfang der Wirkung dieses Muskels resp. der Umfang der durch ihn erzeugten Bewegung ist unbekannt. — Da seine Nerven aus dem Stamm des n. facialis kommen, so vermuthet man, dass sie auch aus den Wurzeln desselben stammen, eine Vermuthung, die noch dahin steht.

Gemeinsame Bewegungen der Gehörknöchelchen. a) Gleichzeitige Bewegungen von Hammer und Ambos (Ed. Weber). Die Achse dieser Bewegung ist bestimmt durch die Anheftung des proc. folianus mallei und des proc. brevis incudis. Die Befestigung der Endpunkte der Achse an der Paukenhöhle wird durch das ligamentum mallei anterius (m. laxator longus) und das straffe Kapselband um den proc. brevis incudis bestimmt; diese beiden

*) Rinne, Prager Vierteljahrsschrift 1855. 2. Bd. 65.

Fortsätze, die in gerader Linie fortlaufen, sind als eine Achse anzusehen, aus welcher unter rechten Winkeln nach der einen Seite der Handgriff des Hammers und der lange Fortsatz des Amboses, nach der andern Seite aber die Gelenkköpfe abstehen. Die Bahn der bewegten Fortsätze wird sonach ein Stück eines Kreisbogens senkrecht auf die Verbindungslinie vom proc. folianus zum proc. brevis incudis darstellen. Diese Bewegung wird gehemmt durch das Trommelfell, das ligamentum mallei externum (m. laxator tymp. min.) und durch das ligamentum suspensorium mallei. — Bekanntlich ist in dem Trommelfell der Handgriff des Hammers so befestigt, dass dieser letztere aus der Ebene des Paukenrings heraus in die Trommelhöhle hineingetrieben wird, mit andern Worten in der Art, dass das Trommelfell einen Trichter bildet, dessen weitere Oeffnung gegen den meatus auditor. extern. hinsieht. In dieser Lage wird aber das Trommelfell erhalten durch den proc. folianus, der eine Feder darstellt, welche sich gegen den Paukenring anlegt und den Handgriff des Hammers nach innen drängt. Demgemäss kann der Handgriff keine Bewegung ausführen, ohne das Trommelfell mit sich zu führen, und nach dem vorhin erwähnten, dem Handgriff möglichen Bewegungen kann diejenige des Trommelfells nur in einem Zu- oder Abnehmen der Tiefe des Trichters bestehen; das Trommelfell hemmt nun nachweislich die Bewegung des Handgriffs nur bei der Vertiefung des Trichters, d. h. dem Einziehen des Trommelfells. In dieser Leistung wird es sehr beträchtlich unterstützt durch das lig. mallei externum, während das lig. suspensor. das Eintreten des Trommelfells in den meat. auditor. hemmt. — Diese eben geschilderten Bewegungen können veranlasst werden durch den musc. tensor tympani, und durch Ungleichheiten des Luftdruckes diesseits und jenseits des Trommelfells, so dass im ersten Fall der Angriffpunkt der bewegenden Kräfte am collum mallei, und im zweiten am Trommelfell sich findet. — Die Sehne des m. tensor tympani geht, nachdem sie ihre Rolle verlassen, bekanntlich von hinten nach vorn und trifft unter einem rechten Winkel gegen die Ebene, in welcher die Hammer- und Ambosfortsätze gelegen sind, oder was dasselbe bedeutet, gegen die Projektion des Trommelfells in der Ebene des Trommelrings; demnach zieht er das Trommelfell nach hinten. Der Umfang seiner Bewegungen ist nicht bekannt. Die Verkürzung vermittelt ein Zweig aus drittem Aste n. trigemini, wahrscheinlich liegen auch die Fasern desselben in den Wurzeln des Quintus, da man die Verkürzung des Muskels erzeugen kann, wenn

man die den Unterkiefer schliessenden Muskeln kräftig verkürzt. Die Bewegung dieses Muskels erzeugt einen feinen hohen Ton, der wahrscheinlich durch die Zerrung des Trommelfells bedingt ist.

Um die Bewegung des Trommelfells bei energischen Kaubewegungen darzuthun, fügt L. Fick *) ein horizontales, enges Glasrohr, in dem sich ein Wassertröpfchen befindet, mittelst gefetteter Baumwolle luftdicht in den äusseren Gehörgang, schliesst dann den Kiefer und presst nun noch durch eine kräftige Bewegung die Zähne aufeinander. Hierbei hört man einen hohen feinen Ton, während zugleich das Wassertröpfchen in der Richtung gegen das Innere des Gehörgangs bewegt wird.

Ausser dem m. tensor tympani veranlassen auch Luftstösse die beschriebene Bewegung des Trommelfells und zwar sowohl solche, welche durch den meatus auditorius extern., als auch die, welche durch die tuba Eustachii und die Trommelhöhle zum Paukenfell dringen.

b) Gleichzeitige Bewegungen von Ambos und Steigbügel ohne eine entsprechende des Hammers sind möglich, weil sich der Ambos drehen kann um eine Achse, die vom Hammerkopf in das Gelenk des kurzen Fortsatzes läuft; sie tritt wahrscheinlich ein, wenn der musc. staped. sich zusammenzieht.

c) Gleichzeitige und gleichsinnige Bewegung von Hammer, Ambos und Steigbügel. Der Steigbügel folgt, vorausgesetzt dass er nicht durch den m. stapedius festgestellt ist, den schon beschriebenen Bewegungen des Hammers und Amboses; in Folge dessen muss die eiförmige Fensterhaut entweder ein- oder ausgebogen werden, entsprechend der Trommelhaut. Der Umfang der Bewegung wird abhängig sein einmal von der Nachgiebigkeit der Haut des runden und ovalen Fensters, und dann von der Leichtigkeit, mit welcher sich die Winkel, unter welchen die Knochen zusammenstossen, vergrössern oder verkleinern lassen, wodurch sich die Kette der Gehörknöchelchen verkürzt oder verlängert. — Eine zwar gleichzeitige, aber ungleichsinnige Bewegung aller Gehörknöchelchen müsste erfolgen, wenn sich der Hammer- und Steigbügelmuskel gleichzeitig zusammenzögen; dieser Fall, der einer genauen Zergliederung bedarf, kann eintreten, weil sich Ambos und Steigbügel unabhängig vom Hammer bewegen können; es kann also der Steigbügel gleichzeitig zwei Bewegungsrichtungen folgen. Unmöglich würde diese Bewegung nur dann sein, wenn sich mit einer Verkürzung des Hammermuskels jedesmal eine Entfernung des Steigbügelknopfes vom An-

*) Müller's Archiv 1850. 526. Siehe ausserdem über Bewegung des Hammermuskels: Luschka's Archiv für physiolog. Heilkunde, IX. Bd. p. 80; Hauff, Valentin's Jahresbericht über 1850. p. 119, und Rinne l. c.

satzpunkte des m. stapedius verknüpfte, wie dieses Rinne behauptet.

Zu den Umständen, welche die gleichsinnige Bewegung der drei Gehörknöchelchen veranlassen können, zählt Huschke ausser den schon erwähnten auch die Verkürzungen des m. stapedius; und zwar soll hierdurch die Bewegung, welche durch den m. tensor tympani nach hinten geschah, nach vorn ausgeführt werden, so dass die beiden Muskeln antagonistisch wirkten. Dieser Annahme gemäss müsste bei gegebenen Verhältnissen der Faserlauf in der Zugrichtung beider Muskeln gerade entgegengesetzt sein, eine Bedingung, die jedoch nicht zutrifft.

Nach der Erörterung des über die Beweglichkeit der Knöchelchen Bekannten gehen wir zu der Betrachtung der akustischen Vorgänge in ihnen über. — Als die Schallbewegung aus der Luft in das Trommelfell eingetreten war, verwandelten sich die Verdichtungs- in Beugungswellen; das nach innen und aussen schwingende Trommelfell wird auf diesem Wege die Reihe der Gehörknöchelchen mit sich ziehen und dadurch wird sich sein bewegender Effekt auf die Haut des ovalen Fensters und auf das Labyrinthwasser übertragen (Ed. Weber). Dieser einfachen Annahme steht eine andere ältere gegenüber, wonach durch die Kette der Knöchelchen wieder Verdichtungs- und Verdünnungswellen geleitet würden, die in das Labyrinthwasser auch als solche übergingen; beurtheilt man diese letztere Art der Leitung nach den von Duhamel*) für ähnliche akustische Einrichtungen ermittelten Grundsätzen, so wird durch die aus dem Trommelfell in den Hammer eindringenden Wellen der letztere in zwei verschiedene Schwingungsperioden versetzt werden. Die eine derselben ist abhängig von der Elastizität und Masse des Hammers, d. h. sie stellt den Eigenton des Hammers dar; nach der von Seebeck entwickelten Gleichung musste sie rasch verschwinden; die zweite ist dagegen gleich derjenigen, welche dem Hammer vom Trommelfell mitgetheilt wurde. Aehnlich dürfte sich der Hammer zum Ambos und dieser zum Steigbügel verhalten.

Die Weber'sche Annahme ist die wahrscheinlichere von beiden; jedenfalls sind wenigstens die Bedingungen so gestaltet, dass die von ihm beschriebene Bewegungsübertragung Statt finden muss. Insbesondere wenn man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles im Gehörknochen berücksichtigt (Helmholtz).

Die besondere Lagerung der Gehörknöchelchen in der Trommelhöhle, vermöge deren sie nur an wenigen Stellen mit der festen Wandung derselben in Berührung

*) Compt. rend. XV. 1.

sind, betrachtet Joh. Müller, welcher der zweiten der im Text erwähnten Ansichten über Mittheilung der Schallbewegung anhängt, als ein Mittel, um die Schallbewegung zu isoliren, da an den Grenzen zwischen Luft und festem Körper der Schall bekanntlich reflektirt wird. Dieser Annahme widerspricht aber die mannigfache Berührung zwischen den Gehörknöchelchen und der Trommelhöhle.

Rinne*), welcher mehr auf der Seite von Ed. Weber steht, bestimmt noch genauer die Bewegung, welche die Kette der Gehörknöchelchen bei der Schallübertragung ausführt. Der auf den Hammerstiel ausgeübte Stoss des Trommelfells soll den Hammer in drehende Bewegungen versetzen, die um einen Punkt geschehen, der in dem Halse unseres Knochen vermuthet wird. Aehnliche Drehungen sollen die Stösse des Hammers im Ambos bewirken; der Drehpunkt liege hier zwischen dem obern und untern Ende des Knochens. Ob der Steigbügel ähnliche Bewegungen ausführt, lässt er ungewiss. Obwohl diese Annahme an und für sich nicht unwahrscheinlich ist, da die Stösse des Trommelfells nicht durch den Schwerpunkt des Hammers und Amboses zu gehen scheinen, so lässt doch andrerseits der dafür angetretene Beweis vieles zu wünschen übrig. — Rücksichtlich der Stärke der auf die Gehörknochen übertragenen Schallbewegung, behauptet Rinne entgegen der von J. Müller angebahnten Vorstellung, dass ein um so grösserer Antheil von der auf das Trommelfell geschehenen Stosskraft sich auf den Hammer übertrage, je tiefer der Trommelfelltrichter, d. h. je stärker der Hammermuskel zusammengezogen sei.

Auf eine andere Bedeutung der beweglichen Knochenkette in ihrer Verbindung mit dem Trommelfell ist schon hingewiesen, als die Einflüsse der Trommelfellspannung besprochen wurden.

3. Labyrinth **).

Die Vertheilung der vom Steigbügel an das Labyrinth übertragenen Bewegung denkt man sich verschieden. — Ed. Weber macht darauf aufmerksam, dass am Labyrinthwasser die Bildung einer Beugungswelle gestattet sei, weil dasselbe nicht von absolut unnachgiebigen Wänden umgeben ist, indem die Oeffnung für den den Steigbügel am runden Fenster ein Gegenloch findet; nach Ed. Weber wird also durch den Stoss der Gehörknöchelchen die eiförmige Membran in das Wasser des Vorhofs gedrängt, und von hier die Ortsbewegung der Wassertheilchen fortgepflanzt durch die Schnecke bis zu der Membran des runden Fensters, welche dadurch eine entsprechende Ausbiegung erfährt.

Die von Ed. Weber gegebene Darstellung hat insofern viel ansprechendes, als sie in Uebereinstimmung steht mit der Art von Beweglichkeit, welche dem Wasser vorzugsweise eigen ist; und weil nach ihr dem Trommelfell und den auf den Hörnerven unmittelbar wirkenden Theilen eine grössere Beweglichkeit zukommt. Wollte man in

*) l. c. p. 93.

**) E. H. Weber, Gesammelte Programme I. Bd. Leipzig 1834. p. 25. de utilitate cochleæ in organ. aud. — Joh. Müller, Handbuch d. Physiol. II. Bd. p. 459. — Ed. Weber l. c. u. Berichte der Naturforscher-Versammlung zu Braunschweig. — Rinne l. c. 1855. 2. Bd. p. 45.

der That annehmen, es sei das Trommelfell durch die Gehörknöchelchen auf das in unnachgiebigen Wänden eingeschlossene Wasser aufgestemmt, so würde weitaus der grösste Theil der schallmittheilenden Kräfte reflektirt werden, wegen des Widerstandes, den das Wasser jeder merklichen Veränderung seiner Dichtigkeit entgegengesetzt. Endlich ist mit der Weber'schen Darstellung eine alte ungereimte Ansicht beseitigt, diejenige nämlich von der doppelten Leitung durch die Paukenhöhle. Dieser, noch von J. Müller vertretenen Annahme gemäss sollte die eine Schallleitung vom Trommelfell zu den Gehörknöchelchen durch das eirunde Fenster und zugleich eine andere mittelst der Luft der Paukenhöhle durch das runde Fenster in das Labyrinthwasser gelangen. Die Müller'schen Versuche zeigten, wie es die Theorie erwarten liess, eine ausserordentliche Abschwächung des Schalles auf dem letzteren Wege, so dass die durch die Gehörknöchelchen geleitete Welle die durch die Luft dringende an lebendiger Kraft weit übertrifft. Für das Hören würde das bedeuten, dass man denselben Ton schwach und laut zusammen vernähme. —

Form und Kraft der Wellen, welche in die Gehörsäckchen, und insbesondere in das Bereich der Gehörsteine, in das Spiralblatt der Schnecke und insbesondere in die Corti'schen Organe *) eintreten, sind unbekannt. Ueber den Eingang der Schallwellen in die Saccular- und Ampullarnerven lässt sich aus der anatomischen Anordnung gar nichts aussagen; etwas, wenn auch nur um ein weniges, anders verhält es sich mit der Schnecke nach den überraschenden Beobachtungen von Corti, die durch Kölliker, Claudius und Böttcher vervollständigt worden sind. In ihr gehen die Nerven in gegliederte Stäbchen über, welche entweder ganz frei oder nur an der äussersten Spitze angeheftet auf dem Spiralblatte liegen. Gedeckt sind diese kleinen (die Corti'schen) Organe durch ein zweites Blatt, welches jedoch weit genug von der obern Fläche der Stäbchen absteht, um ihrer Bewegung einen freien Spielraum zu gönnen. Diese leichten und leicht beweglichen Körperchen müssen gemäss ihrer Lagerung und Anheftung durch jede Schallwelle, die das Spiralblatt trifft, zu Bewegungen veranlasst werden; vermöge welcher sie an den Nerven zerren. Demnach wird die Dauer, Richtung und Stärke der Nervenbewegung von der Masse und Massenvertheilung, der Anheftung und der Elastizität jener Organe abhängen. Welches Heer von Modifikationen ist hier von Bewegung zu Bewegung und von Nerv zu Nerv denkbar. Dass die Nerven vom Wasser umspült sind, dürfte die Gleichförmigkeit ihrer Bewegung bestimmen und zugleich das rasche Verschwinden der eingetretenen Bewegung fördern.

*) Recherches sur l'organe de l'ouïe etc. Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie von Kölliker III. Bd. 1. Hft. — Kölliker, über die letzten Endigungen des nerv. cochleae und die Funktion der Schnecke 1854. — Böttcher, observationes mikroscopicae etc. Dorpat. 1856.

Die Mittheilungen über die Wirkung der Schallwellen im Labyrinth haben leider noch mehr Probabilitäten abzuweisen, als gesunde Hypothesen vorzuführen oder zu bestätigen. . Eine über den Lauf der Wellen durch die Schnecke mit besonderer Ausführlichkeit vorgetragenen Hypothese siehe bei Rinne; es geht dieselbe darauf hinaus, dass die in die Schnecke eintretenden Wellen durch zahlreiche Reflexionen soweit abgeschwächt werden, bis sie den Nerven erträglich sind. — J. Müller nennt die Gehörsteinchen einen Resonnanzapparat auf Grund der von ihm behaupteten Thatsache, dass ein Beutelchen voll Steine, die man in Wasser hängt, den Schall gut aufnehmen und wieder abgeben; inwiefern wäre aber die Otolithenvorrichtung mit jener zu vergleichen? und ist die Fundamentalthatsache begründet? — Die Gegenwart des Gehörwassers suchte J. Müller aus dem flüssigen Nerveninhalt begreiflich zu machen; er dachte sich, dass die im Wasser vorhandene Schwingung in das Nervenmark, als in ein homogenes Mittel, besonders leicht und vollkommen übertrete. Diese Hypothese würde annehmbar sein, wenn der Nerveninhalt nur Nervenmark wäre und dieser Inhalt das Wasser ohne ein zwischen liegendes heterogenes Mittel (die Scheide) berührte, denn nur in diesem Falle würden die Wellen des Wassers ungestört eingehen. — Anderweitige Annahmen über die akustische Funktion des Labyrinths siehe bei J. Müller.

Ueber die merkwürdigen Aquaeductus, die man mit Unrecht, als abgethan ansieht, vergleiche die Literatur bei Huschke, Eingeweidelehre, p. 872. Anmerkung.

4. Eustachische Röhre.

Um Spielraum für die Bewegungen der Felle vor dem Trommelring, vor dem runden Fenster und für die Gehörknöchelchen zu gewinnen, mussten alle diese Theile in eine Substanzlücke, die Trommelhöhle gestellt werden. Diese Höhlung, die mit Luft gefüllt ist und deren Wände mit gashaltigen Flüssigkeiten getränkt sind, ist bekanntlich durch die Trompete mit der Atmosphäre in Verbindung gesetzt. Die Folgen dieser Verbindung lassen sich kurz dahin bestimmen, dass a) die Luft ausserhalb keine andere Spannung erhalten kann, als innerhalb, eine Verschiedenheit, welche ohne diese Communikation eintreten würde bei Veränderungen in der Zusammensetzung der Gase des Blutes, in dem Barometerstande der Atmosphäre und bei Bewegungen des Trommelfells durch den Hammer. Wie oben erwähnt, würden solche Veränderungen in der Spannung einen Wechsel in der Fähigkeit des Trommelfells Töne aufzunehmen herbeiführen, mit andern Worten das Anpassungsvermögen des Ohrs einem stetigen Schwanken unterworfen sein. b) Aber selbst unter Voraussetzung gleicher Dichtigkeit der Luft aussen und innen, würde bei mangelnder Communikation zwischen Trommelhöhle und Atmosphäre jede Art von Bewegung des Trommelfells erschwert werden, wegen der dadurch steigenden Verdichtung oder Verdünnung der Luft. Dann würden sowohl die Wirkungen

des Hammermuskels, als auch der Uebergang der Schallwellen in das Trommelfell, die hier neben einer Verdichtung immer auch eine Beugung hervorrufen, eine Hemmung erfahren haben.

Ausser diesen mechanischen Folgen der Trompete hat man öfter auch nach besondern akustischen geforscht; ersichtlich ist es, dass die Resonnanz der Luft in der Trommelhöhle eine Veränderung erfährt, je nachdem ihre Wände rings geschlossen oder theilweise geöffnet sind; ob aber das auf das Hören von Einfluss ist, steht zu erweisen. Anderweitige Probalitäten finden sich noch in Müller's Handbuch der Physiologie II. Bd. 444.

B) Schallleitung durch die Kopfknochen.

Der zweite Weg, auf welchem Schallwellen, die im Raume erregt worden, zu den Gehörnerven gelangen können, sind die Schädelknochen. Wegen des schlaffen wenig gespannten Ueberzugs, welchen die Weichtheile (Haut, Muskeln etc.) denselben gewähren, und wegen des beträchtlichen Spannungsunterschiedes, in welchem sich die Moleküle des Knoches gegenüber denen jener Weichtheile befinden, könnte ein Zweifel erhoben werden, ob überhaupt die Kopftheile insoweit zur Leitung fähig wären, dass eine merkliche Schallbewegung durch sie zum Gehörnerven dränge. — Dieser Zweifel wird durch die Erfahrung dahin berichtigt, dass allerdings nur Luftwellen von sehr intensiven bewegenden Kräften durch die Kopfknochen vernommen werden, während Schallwellen, welche unmittelbar aus festen Körpern und namentlich durch die Zähne, in den Kopf eindringen, ohne besondere Schwierigkeit in das Labyrinth gelangen.

Ob hohe oder niedre Töne leichter geleitet werden, ob und welche Veränderungen an dem Gesetz der beschleunigenden Kräfte der schwingenden Theilchen auf dem Wege durch die Kopfmassen zum Vorschein treten, ist empirisch nicht festgestellt und theoretisch nicht bestimmbar. Sehr wahrscheinlich ist es aber, dass dieselbe Welle, je nachdem sie durch die Trommelhöhle oder durch die Kopfknocken zu den Hörnerven gedrungen ist, verschieden modifizirt anlangt; Bonnafond *).

Im Labyrinth selbst wird nach einer begründeten Vermuthung von E. H. Weber **) der durch die Kopfknochen dringende Schall vorzugsweise in die Schneckennerven eintreten, weil er zu dessen Ausbreitung in dem knöchernen Spiralblatt ohne irgend welche

*) Valentin's Jahresbericht über Physiologie 1851. p. 162.
**) De utilitate cochleæ etc. l. c.

Reflexion gelangen kann. Schwieriger und demnach mit geringerer Intensität möchten sie dagegen in die Nerven der Ampullen und Säckchen dringen, weil sie, um zu diesen zu gelangen, noch ein neues Medium, die Perilymphe, zu überschreiten haben. Aber immerhin kann man auch Einiges dafür anführen, dass die Bogengänge den Schall aus den Kopfknochen aufnehmen; denn sie schliessen einen körperlichen Winkel ein, oder was dasselbe sagt, sie stehen nach allen drei Raumdimensionen ausgespannt; wie also auch die Wellen die Kopfknochen durchsetzen, immer müssen sie durch einen Bogen ziehen. Die Bewegungen, welche aber einmal in die Perilymphe eingedrungen sind, übertragen sich nicht auf den Sack und gehen dann ungeschmälert zu den Ampullen.

Das einfache Mittel um die Leitungserscheinungen des Kopfes insbesondere zu studiren, besteht darin, das Trommelfell unfähig zu machen für die Aufnahme von Luftschwingungen. Dieses geschieht nach Ed. Weber am sichersten, wenn man den äusseren Gehörgang mit Ausschluss jeglicher Luftblasen voll Wasser füllt. Einfaches Zuhalten des Ohrs genügt nicht.

Nach Harless und Rinne gibt das Verstopfen des lufthaltigen Gehörgans, insbesondere das Zuhalten desselben mit der Hand, während ein Schall durch die Kopfknochen geht, Veranlassung zu einer eigenthümlichen Erscheinung. Nimmt man zwischen die Zähne eine Stimmgabel und lässt sie, nachdem man sie angeschlagen, bis gerade zum Verschwinden des Tons ausklingen, so erscheint der letztere stark und hell wieder, so wie man ein Ohr mit der flachen Hand bedeckt. Hierdurch wird also offenbar der Theil der Bewegung, welcher dem Gehörnerven zu Gute kommt, vermehrt. Eine Erklärung hierfür gibt Rinne l. c. 1. Bd. 113.

Gehörnerv.

Die auf die Seele wirkenden Erregungen des Hörnerven erzeugen die Empfindung des Schalles. Dieser Empfindung steht die Stille gegenüber, womit wir den Zustand bezeichnen, in welchem der Gehörnerv keine Erregungen der Seele veranlasst.

1. Erregungsmittel.

Zu den Schall erregenden Mitteln zählt man erfahrungsgemäss nur mechanische Erschütterungen, seitdem es zweifelhaft geworden, ob durch den electrischen Strom Schallempfindung zu erzeugen sei; (E. H. Weber*)). Jedoch nicht jede mechanische Veränderung der wägbaren Masse ruft eine Schallempfindung hervor. Ausgeschlossen von diesem Vermögen sind alle diejenigen mechanischen Einwirkungen, welche eine für längere Zeit constante Spannungsveränderung, einen stetigen Druck und Zug auf den Gehörnerven bedingen. Dem-

*) Art. Tastsinn in Wagner's Handwörterbuch p. 508.

gemäss werden nur fortlaufende Veränderungen in den Spannungs- oder Lagerungszuständen des Gehörnerven oder in den ihn umgebenden Theilen als Schall empfunden und zwar nur dann, wenn sie mit einer gewissen Geschwindigkeit geschehen.

Den Inhalt der Gehörempfindung scheidet man nach seinem qualitativen Inhalt in Ton, Geräusch und Klang. Es wäre zunächst anzugeben, welcher physikalische Zustand der schallleitenden Medien den einzelnen Empfindungen des Nerven entspricht.

2. Ein einfacher Ton entsteht sicherlich, wenn das Trommelfell bewegt wird von einer Schwingung, deren Geschwindigkeit mit der wachsenden Zeit zu- und abnimmt, wie der Cosinus von Null zu 365° (Newton). Graphisch drückt sich dieses leicht aus, wenn wir Fig. 90 auf die Abszissenlinie x, welche die Zeit bedeutet,

Fig. 90.



als Ordinate (y) die mit der Zeit veränderlichen Geschwindigkeiten der tonerzeugenden Theilchen auftragen; wir erhalten dann eine Curve von der vorstehenden Gestalt; bei ihrer Einführung betonen wir wiederholt, dass die Ordinaten nicht die Richtung, sondern die Intensität der Geschwindigkeit auf einem beliebigen uns nicht einmal bekannten Wege angeben. An dieser Curve kann unbeschadet der Erfüllung der obigen Forderung auch veränderlich gemacht werden die Zeit, während welcher eine ganze Periode abläuft, und die absolute Höhe der Ordinaten, auf welcher sie herläuft. — Jede dieser Veränderungen wird aber auch sogleich Gegenstand der Empfindung und zwar die Zeit der Periode durch das, was man die Tonhöhe und der Werth der Geschwindigkeit durch das, was man Tonstärke nennt.

a) Tonhöhe; sie wird bestimmt durch den Zeitraum, in welchem eine Schwingungsperiode abläuft, und zwar erklären wir einen Ton für um so höher, in je kürzerer Zeit sein schwingender Erzeuger einmal seinen Kreis von Geschwindigkeiten abwickelt, resp. auf dasselbe Geschwindigkeitsmaass zurückkehrt, von dem er ausging. Wir empfinden also die Zeit, welche die Schwingung zu ihrer Vollendung

bedarf, oder was dasselbe sagt, die Art der Empfindung belehrt uns über die Wellenlänge.

Alle Töne, welche wir unterscheiden, stellen wir zusammen in die sogenannte Tonreihe; diese hat ihre obere (?) und untere Grenze, d. h. wenn eine Periode ein gewisses Zeitmaass übersteigt, oder ein anderes Zeitmaass nicht erreicht, so erweckt sie uns keine Tonempfindung mehr. Mit einiger Willkür hat man festgesetzt, dass eine Schwingung, deren Periode länger als $^1/_{16}$ Sec. und kürzer als $^1/_{38800}$ Sec. dauert, nicht mehr tönt. Diese Annahme ist insofern willkürlich, als die Grenzen für verschiedene Menschen verschieden zu liegen scheinen. — Bemerkenswerth ist, dass innerhalb dieser Grenzen je nach den Zahlenverhältnissen, welche zwischen den Schwingungszeiten der Töne bestehen, diese letzteren gewisse Analogien in der Empfindung besitzen.

Der Beweis für die Richtigkeit der vorgetragenen Behauptungen wird durch die in allen Lehrbüchern der Physik beschriebene Sirene oder das Savart'sche Zahnrad geliefert. —

b) Tonstärke. Ein Ton von gleicher Höhe kann einen verschieden starken Eindruck auf das Gehör machen, je nachdem die absoluten Werthe der beschleunigenden Kräfte sich ändern. Diese Annahme wird dadurch erwiesen, dass eine Saite u. dergl. bei verschieden kräftigem Anschlag Töne von verschiedener Intensität gibt. Nach welchem Gesetz die Intensität der Empfindung mit der Intensität der Bewegung sich ändert, ist um so schwerer zu ermitteln, als die Empfindlichkeit des Gehörnerven den mannigfachsten Schwankungen unterliegt. Natürlich ist desshalb auch keine Angabe möglich, welche Kraft die Bewegung besitzen muss, um überhaupt noch gehört zu werden.

3. Gemischte Töne. Treffen mehrere Wellenzüge, von denen jeder einem einfachen Ton angehört, mit nicht allzuungleichen Kräften gleichzeitig auf ein elastisches Theilchen, so treten nach den schönen Entwicklungen von Helmholtz *) verschiedene Fälle ein. — a) Die Bewegungen der verschiedenen Wellen superponiren sich, d. h. das elastische Theilchen empfängt alle die Stösse, welche jeder einfache Wellenzug enthält, so dass also die Kräfte, welche es während des Durchgangs aller Wellen empfangen hat, dargestellt werden durch die Summe der ihm zukommenden Kräfte. Die physikalische Bedingung für die Superposition besteht darin, dass die

*) Poggendorff's Annalen 99. Bd. 497.

Excursionen, welche das Theilchen bei der Schwingung ausführt, verschwindend klein sind. Trifft ein zusammengesetzter Wellenzug das Ohr, so sind im Allgemeinen die Folgen verschiedenartig, entweder nämlich hört das Ohr die Resultirende, oder es zerlegt diese wieder. — Für den ersten Fall hat Seebeck Beispiele gesammelt.

Die physikalisch und physiologisch interessanten Versuche von Seebeck *) wurden an der Sirene angestellt. Wenn er gleichzeitig aus zwei entgegengesetzt gerichteten Röhren gegen die Löcher der drehenden Scheibe bliess, so wurde der Ton vollkommen ausgelöscht; im Ohr langten dann gleichzeitig zwei Töne gleicher Stärke und Höhe, aber entgegengesetzter Richtung an, die vollkommen interferirten. Diesem entsprechend konnte bei derselben Art des Anblasens ein Ton um eine Oktave heruntergestimmt werden, wenn er auf einer Scheibe zwei conzentrische Löcherreihen anbrachte, in der Art, dass die Löcher der einen Reihe jedesmal eines der andern übersprangen, also nur $^1/_2$ so zahlreich vorhanden waren, wie dies Figur 91 angibt. Hier interferirten

Fig. 91.

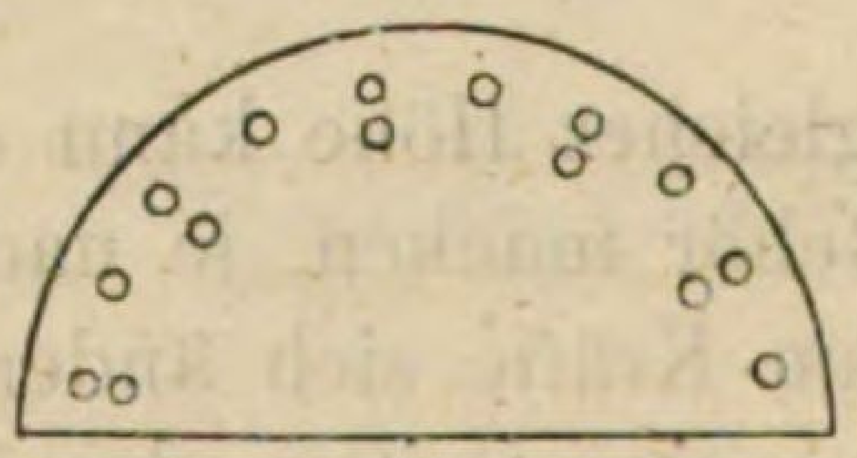
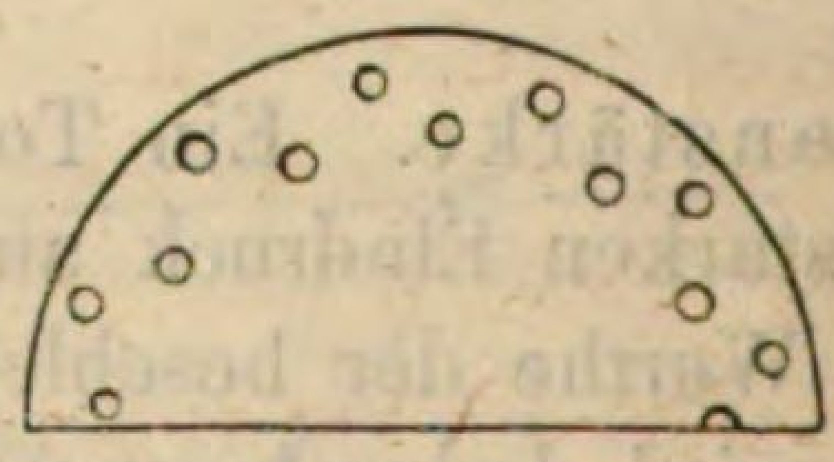


Fig. 92.



begreiflich die Stösse der übereinanderstehenden Oeffnungen, so dass nur die der mittleren tonerzeugend wirkten. — Seebeck zeigte ferner, dass, wenn man von derselben Seite her gleichzeitig die Oeffnungen zweier conzentrischen Reihen anblies, deren einzelne Glieder so gestellt waren, dass die einen den Zwischenraum der andern halbirten (siehe Figur 92), die Oktave des Tons erhielt, welchen jede Löcherreihe für sich gab. Hier erhöhten sich also zwei an verschiedenen Orten erzeugten Töne.

Zerlegt das Ohr die Resultirende wieder, so geschieht dieses genau in dieselben Bestandtheile, aus denen sie hervorgegangen war. Diese Zerlegung geht, wie schon Young zeigte, mit einer überraschenden Genauigkeit vor sich, so dass dadurch die Resultate der feinsten Rechnung bestätigt werden. — b) Ist die Schwingungsbahn der von den verschiedenen Wellenzügen getroffenen Theilchen nicht verschwindend klein, dann nimmt das letztere, wie die analytische Entwickelung zeigt, ausser der Bewegungsart, die aus den einfachen Wellenzügen resultirt, noch eine besondere Bewegung an, so dass, wenn nun ein zusammengesetzter Stoss das Ohr trifft, ausser den ursprünglichen Tönen auch noch neue, die Combinations- (oder die Sorge'schen) Töne zu hören sind. Die Schwingungs-

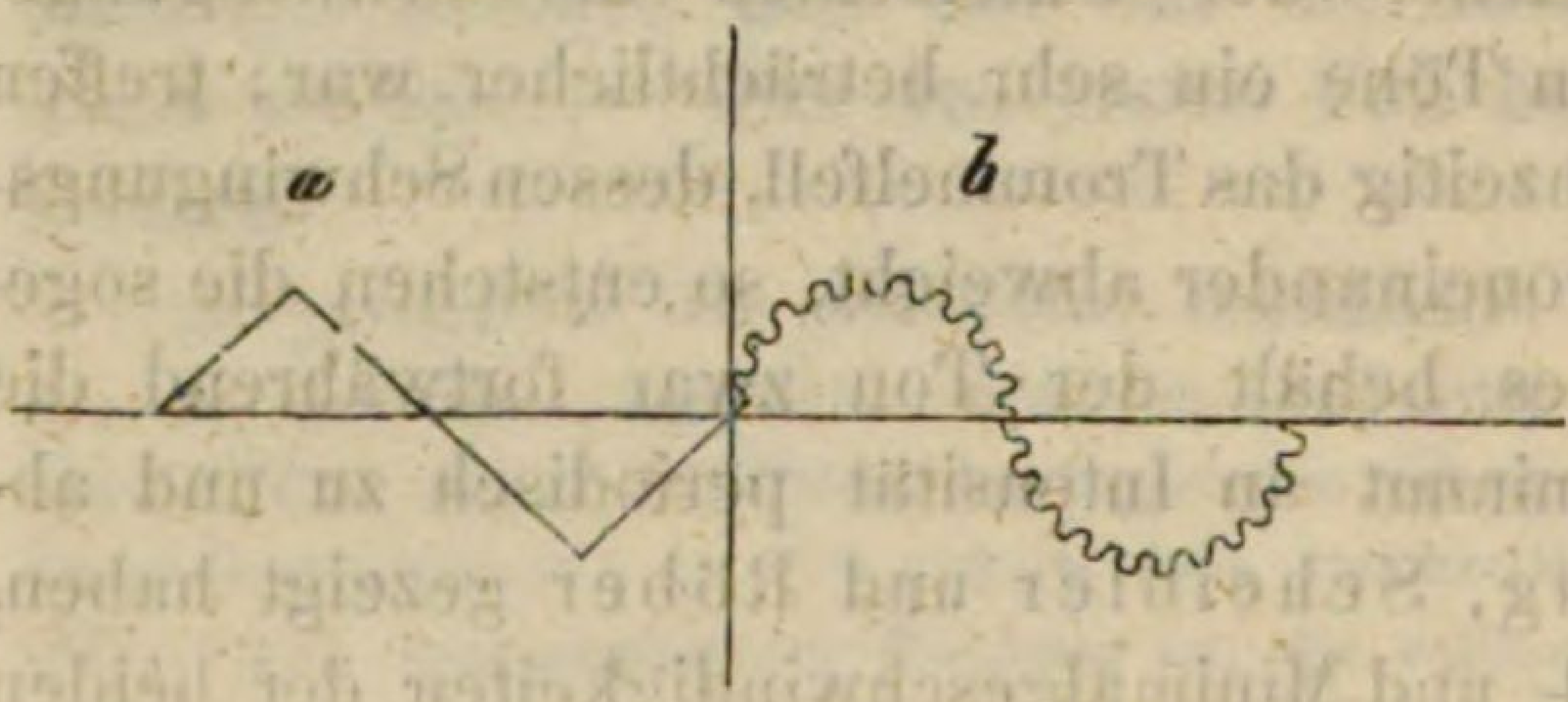
*) Dove's Repertorium VI. u. VIII. Bd.

zahl, welche diese Töne erreichen, ist entweder gleich dem Unterschied, oder der Summe der Schwingungszahlen der beiden einfachen Töne. — c) Bisher wurde die Schallmischung in Betracht gezogen, bei welcher der Unterschied der Schwingungszahlen beider combinirten Töne ein sehr beträchtlicher war; treffen dagegen zwei Töne gleichzeitig das Trommelfell, dessen Schwingungszahl nur unbeträchtlich voneinander abweicht, so entstehen die sogenannten Stösse, d. h. es behält der Ton zwar fortwährend die gleiche Höhe, aber er nimmt an Intensität periodisch zu und ab. Dieses rührt, wie Young, Scheibler und Röber gezeigt haben, daher, dass die Maximal- und Minimalgeschwindigkeiten der beiden nahezu gleichhohen Töne in regelmässig wiederkehrenden Zeiten zusammenfallen. Diesem Umstand ist es auch zuzuschreiben, dass die Stösse noch sehr deutlich an selbst sehr schwachen Tönen merklich sind, während die Combinationstöne und namentlich die Summentöne sehr kräftiger einfacher Wellenzüge bedürfen, um deutlich zu werden.

4. Klang. Ein Ton kann trotz gleicher Schwingungszahl doch noch sehr wesentlich verschiedene Empfindungen erwecken; wie z. B. sich dieselbe Note, je nachdem sie auf der Flöte, Geige u. s. w. angesprochen wurde, sehr verschieden anhört. Den Grund dieser Erscheinung finden die Physiker übereinstimmend darin, dass man es in allen diesen Fällen nicht mit einfachen, sondern mit gemischten Tönen zu thun habe. Von den in diese Mischung eingegangenen hat jedoch einer, der nämlich, welchen man rein zu hören glaubt, rücksichtlich der Stärke so weit das Uebergewicht über alle andern, dass sich die andern nicht als Töne für sich geltend machen können. Man pflegt diesen Satz auch wohl so auszudrücken, dass man sagt, die schwingenden Theilchen, welche zwei gleich hohen, aber verschieden klingenden Tönen angehören, haben zwar gleichlange Perioden, aber die Geschwindigkeitsfolge innerhalb der Periode ist bei beiden Tönen verschieden. Wollte man diesem Satz eine graphische Darstellung geben, so würde sie etwa nach dem Schema der Fig. 93 geschehen müssen. In dieser Figur haben die Abszissen und Ordinaten die schon verabredete Bedeutung. Es würde also *a* und *b* dieselbe Wellenlänge zukommen, innerhalb der Periode würde aber die Geschwindigkeitsfolge verschieden sein. Wenn man aber auch durch die Versuche von E. H. und W. Weber, Cagnard-Latour, Seebeck, Helmholtz u. A. die Richtigkeit unseres Satzes im Allgemeinen festgestellt ist, so wissen wir doch

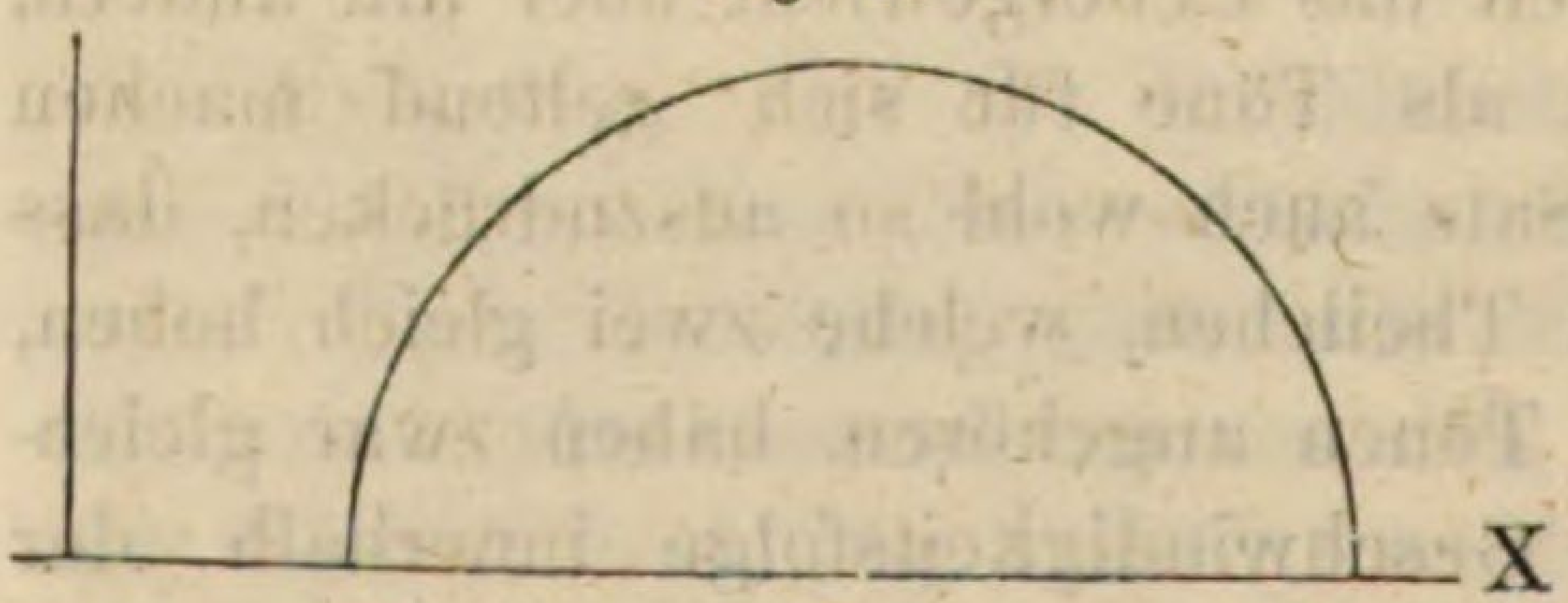
noch durchaus nicht, welche Klangarten und welche Beschleunigungsgesetze der Tonwelle zueinander gehören.

Fig. 93.



E. H. und W. Weber*) zeigten zuerst, dass eine gleich lange und gleich gespannte Saite einen verschiedenen Klang desselben Tones gibt, je nachdem man sie in der Mitte oder den Enden anzieht. — An der Sirene fand Cagnard-Latour den Ton mehr der Trompete, Oboe und Fagott oder der menschlichen Stimme ähnlich, je nachdem die Entfernung der Löcher zu ihrem Durchmesser in verschiedenem Verhältniss stand. Seebeck**) brachte auf einer Sirene die Löcher von 1- bis 60-fachem Abstand ihres Durchmessers an; in diesen Fällen wurden die einzelnen Stösse durch eine verschieden lange Zeit der Ruhe von einander getrennt. Diese Methode der Tonerzeugung hat den Vortheil, dass man sich eine ungefähre Vorstellung von der Ab- und Zunahme in der Geschwindigkeit der schwingenden Theilchen bilden kann. Denn stellen wir uns vor, die Röhre, mittelst welcher die Sirene angeblasen werde, habe eine kreisförmige Mündung von gleich grossem Durchmesser, wie derjenige der Sirenenlöcher, so wird offenbar beim allmäligen Vorübergehen eines Sirenenlochs vor der Mündung der anblasenden Röhre, die Beschleunigung der Luft wachsen von der beginnenden Berührung der Grenzen beider Oeffnungen bis zum vollständigen Aufeinanderpassen, und dann wird von diesem Punkt ab die Beschleunigung wieder abnehmen bis die Mündung der anblasenden Röhre in dem Raume zwischen zwei Löchern anlangt, wo dieselbe ihr Minimum erreicht. — Stellen wir uns dieses graphisch vor, in der Art, dass Fig. 94 die Linie X die Zeit, die auf sie aufgetragene die Beschleunigung der Luft bedeuten, so wird, wenn bei ax zuerst die Grenzen beider Mündungen sich berühren und bei bx die Mündungen sich verlassen, das Gesetz der Beschleunigungscurve im Allgemeinen wie gezeichnet, ausfallen.

Fig. 94.



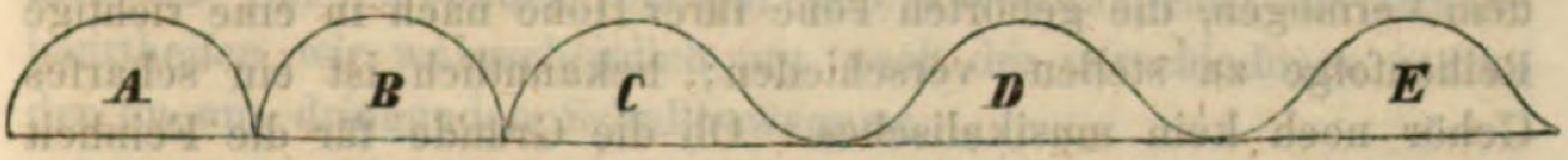
Je nachdem nun die gleichgrossen Mündungen mehr oder weniger nahe an einander stehen, wird ein Ton zusammengesetzt aus einer Reihe mehr oder weniger nahe zusammenstehender Bogen. Seebeck beobachtete nun, dass die Tonhöhe unverändert blieb, wenn nur in gleichen Zeiten gleichviel Stösse zum Ohr gelangten, dass dagegen der Ton mehr pfeifenartig wurde, wenn die einzelnen Stösse rascher aufeinander folgten, wie in *A, B, C* der Fig. 95, dass sie dagegen einen schnarrenden Klang annahmen,

*) Wellenlehre p. 458.

**) Repertor. v. Dove VIII. Bd. Akustik p. 1 u. f.

wenn sie in grossen Entfernungen geschehen, wie in *C, D, E*. Helmholtz *) machte die merkwürdige Beobachtung, dass ein Wellenzug von ganz gleicher Form dem Ohr anders klingt, je nachdem er sich zum Ohr hin oder von ihm weg bewegt.

Fig. 95.



5. Ausser den Tönen, die wir bisher betrachteten, werden dem Gehör noch eine grössere Reihe anderer Bewegungen Gegenstand einer eignen Empfindung, die mit dem allgemeinen, viel umfassenden Namen des Geräusches bezeichnet wird. Das Geräusch selbst wird je nach besondern Modifikationen der Empfindung wieder als ein summendes, brausendes, schwirrendes, klapperndes u. s. w. bezeichnet. Ueber die Natur der Bewegung, welche diese Geräusche veranlasst, fehlen uns alle Untersuchungen. Nach mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit hat man sie bald als Folge einer Periode angesehen, welche in einer zu langen Zeit abläuft, um noch die Empfindung des Tons zu ermöglichen, bald aber auch als eine Combination vieler durcheinanderfahrender Tonbewegungen, deren Beschleunigungsgesetze sich wechselseitig so sehr verwickeln, dass sie das Ohr nicht auflösen kann. In diesem letzteren Sinne vergleichen die Gebrüder Weber das Geräusch der weissen Farbe; Seebeck macht die diese Behauptung bestätigende Angabe, dass sich aus den Geräuschen einzelne deutliche Töne hervorhören lassen, wenn man sich dem geräuscherzeugenden Gegenstand mehr oder weniger nähere oder sich in verschiedener Richtung gegen ihn stelle.

6. Nachtönen.

Die Empfindung muss die Erschütterung der Gehörnerven überdauern, wie aus den Thatsachen über die Empfindung der Tönhöhe hervorgeht, aber dieses Ueberdauern beträgt nur sehr kurze Zeiten, wie daraus folgt, dass verschiedene rasch hinter einander erzeugte Töne sich in der Empfindung nicht stören. Zudem ist es eine bekannte Erfahrung, dass selbst nach anhaltender Einwirkung eines Tones kein Nachtönen (ähnlich den Nachbildern) eintritt. Doch kann nicht alles Nachtönen geläugnet werden; nach stunden- oder taglangem Anhalten des Tones bleibt er endlich, selbst wenn das

*) Poggendorff's Annalen 99. Bd. p. 536.

tönende Objekt entfernt ist, im Ohr zurück. — Die Bedingungen zur Entstehung des Nachtons bedürfen noch genauerer Untersuchung.

7. Feinheit der Tonunterscheidung; musikalisches Gehör.

Die Fähigkeit Töne überhaupt zu hören, ist wesentlich von dem Vermögen, die gehörten Töne ihrer Höhe nach in eine richtige Reihenfolge zu stellen, verschieden; bekanntlich ist ein scharfes Gehör noch kein musikalisches. Ob die Gründe für die Feinheit des musikalischen Gehörs nur in einer besonderen Ausbildung der Seelenfähigkeit oder auch in einer gleichzeitigen der Gehörnerven gesucht werden müssen, ist vorerst eine müssige Untersuchung. Ueber das Vermögen selbst genügt es, hier nur anzumerken, dass nach Seebeck*) von geübten Musikern mit Leichtigkeit noch Töne als verschieden erkannt und richtig geordnet werden, welche auf 1200 Schwingungen in der Sekunde um 1 Schwingung differiren.

Die Andeutungen über Accorde, Harmonie u. s. w., welche gewöhnlich in den physiologischen Lehrbüchern abgehandelt werden, haben wir hier absichtlich unterdrückt.

8. Nachaussensetzen der Gehörempfindung. Richtungen des Hörens.

Die Empfindungszustände der Gehörnerven setzt die Seele, gleich denen des Gesichtsnerven, nicht in die Nerven oder in unsern Körper, sondern jenseits desselben in den Raum. Nach der bemerkenswerthen Entdeckung von Ed. Weber sind es die Schwingungen des Trommelfells, welche uns diese Vorstellung verschaffen; denn es zeigte sich, dass wir nur so lange die schallerzeugende Ursache als ausserhalb unseres Körpers befindlich ansehen, als das Trommelfell zu Schwingungen befähigt ist; während wir augenblicklich den ausserhalb unseres Kopfes erzeugten Schall in diesen selbst versetzen, sowie das Trommelfell an seinen Schwingungen vollkommen behindert ist.

Zur Bestimmung der Richtungen des Schalles bedienen wir uns, wie ebenfalls Ed. Weber entdeckte, der Ohrmuschel und der Trommelfellschwingung, und zwar unterscheiden wir das Oben und Unten, das Hinten und Vorn durch das erstere Werkzeug, das Rechts und Links dagegen mittelst des Trommelfells. Nach den Erfahrungen des täglichen Lebens tritt ausserdem noch als das Bestimmungsmittel die verschiedene Intensität des Schalles bei Drehungen des Kopfes um die vertikale und horizontale Achse hinzu, indem wir die Richtung des Schalles in die Verlängerung des Gehörganges bei der Stellung verlegen, in welcher die Empfindung die grösste

*) Dove's Repertorium VIII. Akustik 106.

Stärke erlangt. Von diesem Gesichtspunkt aus erhält auch die Gegenwart zweier Ohren und ihre dimentrale Stellung am Kopfe eine Bedeutung.

Die absolute Entfernung der schallerzeugenden Ursache von unserem Ohr empfinden wir nur sehr unvollkommen; die relative beurtheilen wir wahrscheinlich nur nach der verschiedenen Stärke der zu uns dringenden Schallbewegung.

Um die Wirkungen des Trommelfells für die Empfindung der Richtung zu untersuchen, tauchte Ed. Weber den bald mit Luft gefüllten und bald vollkommen mit Wasser gefüllten Gehörgang unter Wasser; in dem ersten Falle, in welchem das Trommelfell noch schwingen konnte, legte der Beobachter den Ort eines Schalles, der im Wasser erregt wurde, noch ausserhalb seines Körpers; auch unterschied er noch die Richtung von rechts oder links, dagegen nicht mehr die von oben und unten. War der Gehörgang aber unter diesen Bedingungen mit Wasser angefüllt, welches die Schwingung des Trommelfells verhinderte, so erschien nun der Ort des Schalles im Kopf selbst zu liegen und es konnte über die Richtung desselben gar nichts mehr ausgesagt werden. — Die Leistungen der Ohrmuskeln ermittelte er, indem er das Hören prüfte, nachdem er dieselben nur einfach eliminirt, oder sie nachträglich durch eine ähnliche physikalische Einrichtung ersetzt hatte. Das erstere geschah, wenn er den Kopf ganz untertauchte und den Gehörgang mit Wasser füllte, dann war das Urtheil über oben, unten, hinten und vorn verloren gegangen. Oder er legte durch ein Band die Ohrmuschel fest an den Kopf und drückte die Hand vor dem äussern Gehörgang fest auf die Wange, so dass sie ungefähr die Form der Ohrmuschel nachahmt. Unter diesen Umständen kehrt sich die Richtung der Empfindung des vorn und hinten um, so dass der vor der Angesichtsfläche erregte Schall vom Hinterhaupt her zu kommen scheint.

Man glaubte früher nach einer Beobachtung von Dove *) annehmen zu dürfen, dass beide Gehörnerven in ähnlicher Weise, wie die identischen Netzhautstellen ihre Empfindungen auf einander übertragen oder ausgleichen können. Diese Behauptung soll hier nur erwähnt werden, um darauf hinzuweisen, dass sie von Seebeck **) widerlegt ist.

9. Binnentöne.

Töne, denen eine ausserhalb unseres Körpers liegende veranlassende Schallbewegung fehlt, treten sehr häufig ein. Wir zählen zu ihnen: 1. Selbsttönen der Luft des äusseren Gehörganges. Dieses sogenannte Selbsttönen der Luft im äusseren Gehörgang erscheint, wenn durch fremde Körper, Ohrenschmalz etc. der Gehörgang verstopft ist; geringe Erschütterungen (durch die Kopfknochen etc.) reichen dann hin, um stehende Schwingungen dieser Luft zu veranlassen. Sie verschwinden, wenn die Communication zwischen Atmosphäre und Trommelfell wieder hergestellt ist. — 2. Selbsttönen der Luft der Trommelhöhle. Dieses Tönen erscheint, wenn

*) Repertorium III. 404.

**) Repert. VIII. Bd. Akustik 107.

die tuba Eustachii verstopft ist. — 3. Töne durch Zerrungen am Trommelfell und durch Reibung der Gehörknöchelchen bei Bewegung der Muskeln der Trommelhöhle. Sie sind schon früher erwähnt. — 4. Töne durch Erschütterungen des Felsenbeines mittelst des Arterienpulses. Hierher gehören die klopfenden Töne bei Kopfkongestionen. — 5. Endlich beobachtet man noch sogenannte Binnentöne, die einen zu vollen und reinen Klang zeigen, als dass man ihren Ursprung in einem der erwähnten Umstände suchen könnte. Woher sie rühren, ist unbekannt.

F. Geruchsinn.

1. Anatomische Einleitung*). Die Verbreitungsbezirke des n. olfactorius (regio olfactoria), an welche sich die Geruchsempfindungen knüpfen, sind bekanntlich in eine vorzugsweise verengerte Stelle der Nasenhöhle, nämlich den obern Theil der Nasenscheidewand und die beiden ersten Muscheln gelegt. Die Besonderheit des Baues der Nasenwandungen hierselbst liegen theils in der muscheligen Unebenheit derselben, theils aber in der Gegenwart von besondern Oberhautzellen und Nerveneinrichtungen. Die Oberhaut besteht aus flimmerlosen Cylindern (Bowmann), welche im Innern ein gelbes Pigment (Ecker) und an ihrem Schleimhautende lange, feine dichotomische Fortsätze (Eckhard) tragen, welche nach Schulze frei im Bindegewebe der Nasenhaut enden. Zwischen diesen Epithelialzellen liegen nach einer schönen Entdeckung von M. Schulze zellenartige Körper; diese schicken nach der Luftseite hin Fortsätze aus, die zwischen den Epithelialcylindern hindringend mit sehr feinen Cilien frei enden. Nach der Parenchymseite gehen aus jenen Gebilden Fäden, welche den Nervenröhren des olfactorius nicht allein vollkommen gleichen, sondern auch in die Stellen des Unterhautbindegewebes dringen, in welchen die Nervenfäden des olfactorius vorzugsweise hin verfolgt werden können. Darum glaubt Schulze auch, ohne den direkten Uebergang beider Arten von Fäden gesehen zu haben, die Verbindung beider als sehr wahrscheinlich aussprechen zu dürfen. Jene Zellen und Fäden sind ungemein fein und leicht vergänglich.

2. Erregungsmittel. Zu ihnen zählt man a) Spannungs- und Lagenveränderungen der Nerven, wie sie durch Drücke auf die Nase herbeigeführt werden (Valentin**)). Da die Geruchs-

*) Jahresbericht von Henle für 1856 (Zeitschrift für rat. Med.).

**) Lehrbuch der Physiologie II. Bd b. 2te Aufl. 292.

nerven nur sehr weniger Menschen auf diese Weise erregt werden, so bezweifelt man die gerucherweckende Leistung der Drücke noch bis dahin *). — b) Electrische Ströme. Gegen diese Angabe macht Schönbein mit Recht geltend, dass es, seitdem er das Ozon aufgefunden, mindestens zweifelhaft erscheinen müsse, ob der Geruch, welchen die Electricität erregt, geradezu von einem Eingriffe des Stromes auf die Nervensubstanz oder von der Entwicklung des Ozons abhängig sei. — c) Eine begrenzte Zahl luftförmiger Atome, die Riechstoffe, sind endlich die gewöhnlichen Erreger des Geruchsinnes. Von welchen Eigenschaften der Atome die gerucherzeugenden Wirkungen überhaupt abhängig sind, ist gegenwärtig noch im Dunkeln; wir wissen nur, dass wenn auch nicht alle Gase zu den Riechstoffen zählen, diese letzteren jedoch, wenn sie riechbar sein sollen, gasförmig in die Nase gelangen müssen; ferner, dass wahrscheinlich die Atome durch ihre chemisch-verwandtschaftlichen Kräfte den Nerven oder dessen Umgebung erregen; wir schliessen dieses daraus, weil das sogenannte unerregte, das gewöhnliche Sauerstoffgas geruchlos ist, entsprechend seinen schwachen Verwandtschaften, während das erregte, das Ozon, sehr kräftig riecht, und weil im Allgemeinen Stoffe mit kräftiger Verwandtschaft, wenn sie Riechstoffe sind, auch sich als intensive Erreger des n. olfactorius auszeichnen.

Zu dem letzten Satz muss aber sogleich die Beschränkung kommen, dass nicht jede Umänderung der Geruchsflächen durch chemische Mittel — also nicht jeder Angriff derselben durch die Verwandtschaft einen Geruch erzeugt, wie die Zerstörungen der Nase durch Aetzmittel darthun. — Ferner, dass die verwandtschaftlichen Kräfte der Geruchsfläche ganz besondere sein müssen, da sonst milde Stoffe, wie z. B. die ätherischen Oele, die Salzverbindungen der Aetherarten und dergl., so intensive Gerüche erzeugen. — Der Untersuchung würdig dürfte es sein, ob man nicht empirisch die scheinbar unsägliche Mannigfaltigkeit der Riechstoffe nach ihren Geruchswirkungen in Gruppen, welche gleichartige Glieder enthielten, zerspalten könnte, deren anderweite chemische und physikalische Analogien zu vergleichen wären. Dieses Unternehmen erscheint nur von dem Gesichtspunkt aus bedenklich, dass derselbe Stoff, je nach der Menge, in welcher er auf den Nerven wirkt, verschiedene Gerüche erregen soll (Valentin **), weniger dagegen von dem, dass nachweislich Stoffe der verschiedensten chemischen Constitution, wie Phosphor, Arsenik und Knoblauch einen ähnlichen Geruch bieten. Mangelhafte Versuche hierzu siehe bei Linné ***), Lorrey †) u. Fourcroy ††)

*) Fröhlich in Valentin's Jahresbericht der Physiologie über 1851. 163.

**) l. c. 283 u. 288.

***) Amoenitates academicæ tom. III. 1756. p. 183.

†) Observations sur les parties volatiles et odorants etc. Hist. et memor. de la société royale de méd. 1785. p. 306.

††) Mémoire sur l'esprit recteur etc. Ann. d. chim. 26. Bd.

3. Die Stärke des Geruchs steht in Abhängigkeit von dem Erregbarkeitsgrade der empfindenden Werkzeuge, dem Zustand der den Nerven umgebenden und bedeckenden Theile (Gefässe, Bindegewebe, Drüsen, Epithelien) und der besonderen Einwirkung der Riechstoffe.

Auf die wechselnde Erregbarkeit des empfindenden Theils der Geruchsorgane schliessen wir, abgesehen von der Analogie mit allen andern nervösen Theilen, aus Vergiftungen des Nerven und aus den sogenannten Verstimmungen des Geruchs in Nervenkrankheiten. —

Strychnin örtlich und innerlich angewendet, soll nicht allein den Geruch in der Art verschärfen, dass man nun Riechstoffe von einer Verdünnung wahrnimmt, in der sie sonst nicht mehr empfunden werden, sondern es soll sich auch die Art der Empfindung ändern. Andere Narkotika, namentlich Atropin und Morphin sind bei örtlichem und allgemeinem Gebrauche ohne Einfluss auf den Geruch (Frölich).

Die Oberhaut, die Drüsen und das Bindegewebe der Geruchsflächen müssen von Einfluss auf die Wechselwirkungen zwischen Nerven und Riechstoffen sein. Dieses bedarf einer Erläuterung eben so wenig für den Fall, dass wir uns vorstellen, es dringe der Riechstoff durch diese Umgebungen hindurch zu dem Nerven, als wenn wir annehmen, der Riechstoff trete nur zu den die Nerven umgebenden Stoffen, deren Veränderungen sodann empfunden werden. Von der Art dieses Einflusses auf die Geruchsempfindung sind wir nur wenig unterrichtet; man erläutert aber aus denselben die Thatsachen, dass bei einem vermehrten oder verminderten Erguss der Drüsensäfte in die Nase (bei Trockenheit der Nase und beim Schnupfen) die Schärfe des Geruchssinnes leidet; ferner dass, wenn man in die Nase reines, körperwarmes Wasser einbringt, durch welches die Epithelialzellen, noch mehr aber die Geruchszellen nachweislich verändert werden, der Geruch für kurze Zeit (1 bis 2 Minuten) ganz aufgehört hat zu bestehen (E. H. Weber*)).

Nach der Beobachtung von E. H. Weber lässt sich die Nasenhöhle eines horizontal auf den Rücken liegenden Menschen für einige Zeit dauernd mit Wasser füllen, da sich auf reflektorischem Wege der arc. pharyngopalatinus vollkommen wasserdicht schliesst. Die Geruchsempfindlichkeit ist nach Entfernung des Wassers für einige Minuten vollkommen aufgehoben, gleichgiltig, ob die Temperatur des Wassers von 0^0 bis 50^0 C. schwankt, so dass demnach die Geruch zerstörende Wirkung nur dem Wasser und nicht der Temperatur beigemessen werden muss. — Da die Empfindung so rasch wiederkehrt, so kann man, abgesehen von den schon erwähnten Gründen der Leichtveränderlichkeit der Zellen, die Unterbrechung der Thätigkeit des Geruchsorganes nur von einer Umwandlung in der Beschaffenheit der obersten Zellenlage ab-

*) Müller's Archiv 1847. p. 351.

leiten, welche mit Wasser durchtränkt den Riechstoffen den Durchgang erschwert. Hiermit wäre es vielleicht in Uebereinstimmung, dass bei diesem Verfahren Essigsäure, Aether und Ammoniak (in Wasser lösliche Stoffe) früher wieder empfunden werden, als ätherische Oele (Valentin). — Aus diesen Beobachtungen erlärt sich nun auch die Mittheilung von Tourtual, welche E. H. Weber vervollkommnete, dass Riechstoffe in flüssiger Form, z. B. verdünntes köllnisches Wasser in die Nase gebracht, gar keine Geruchsempfindung erzeugen.

Endlich üben einen Einfluss auf die Stärke des Geruchs die Menge der in den Geruchsflächen verbreiteten Riechstoffe, die Dauer ihrer Anwesenheit daselbst, die Richtung und Stärke der durch die Nase gehenden Luftströme. α) Die Menge des gleichzeitig in den Geruchsflächen vorhandenen und demnach auf die Nerven wirkenden Stoffes kann geradezu nicht bestimmt werden; man schätzt sie dagegen entfernt angenähert aus der Menge von Stoff, welche in einem gegebenen Luftvolum enthalten war, das in der Zeiteinheit bei einer Einathmung durch die Nase strich. Aus solchen Schätzungen schliesst Valentin *), dass, wenn gleichzeitig auf den Geruchsflächen vertheilt sind noch weniger als 0,0016 Milligram Brom, 0,02 M. G. Phosphorwasserstoff, 0,002 M. G. Schwefelwasserstoff, 0,00005 M. G. Rosenöl deutliche Empfindung entstehe, dass Moschus aber in noch viel geringerer Menge schon stark rieche. Diese Thatsachen zeigen nicht allein, dass eine grosse Feinheit der Geruchsreaktion, sondern auch, dass eine Scala der Verschiedenheit für die Wirksamkeit der Riechstoffe besteht; es bleibt zweifelhaft, ob dieses herrührt von dem Widerstand, den die Umgebungen des Nerven dem Durchdringen der Riechstoffe entgegen stellen, oder von einem eigenthümlichen Verhalten der Nerven selbst. In welchem Verhältniss mit der Menge der in der Nase vorhandenen Riechstoffe die Stärke des Geruches wächst, wissen wir begreiflich nicht; nur das ist bekannt, dass wenn wir nur mit einer Nasenhälfte riechen, die Empfindung schwächer ist, als beim Einziehen der Luft in beide Nasenöffnungen. — β) Die Dauer der Anwesenheit eines Riechstoffes wirkt nach entgegengesetzten Richtungen bestimmend auf die Geruchsstärke. Einmal steigert sich, namentlich bei sehr verdünnten Riechstoffen mit der Dauer ihrer Anwesenheit die Intensität des Geruchs (Valentin), dann aber nimmt allgemein mit der Dauer der Einwirkung die Geruchsintensität ab. Diese Abstumpfung führen im Allgemeinen dichtere Riechstoffe eher herbei als verdünnte; einzelne Substanzen, wie z. B. conzentrirter Moschus, sollen nach

*) l. c. p. 281 u. f.

Valentin so vernichtend wirken, dass der Zeitraum, in dem sie Empfindung erregen, verschwindend klein ist. Aus dieser Eigenschaft der Geruchswerkzeuge erläutert sich vielleicht auch die Erscheinung, dass die von dem riechenden Individuum selbst dauernd ausströmenden Gerüche nicht empfunden werden. γ) Luftströme, welche mit riechenden Stoffen geschwängert sind, erzeugen vorzugsweise Empfindungen, wenn sie mit einer grossen Beschleunigung durch die Nase in der Richtung von vorn nach hinten und von unten nach oben dringen; demgemäss erweitern wir unwillkürlich die Nasenmündung und ziehen rasch und stossweise die Luft ein, wenn wir einen Gegenstand auf seinen Geruch prüfen wollen. Hierdurch aber geht der Luftstrom von seiner gewöhnlichen horizontalen theilweise wenigstens in die vertikale Richtung (Meyer*)). Man darf nach den vorliegenden Thatsachen schliessen, dass die nächste Wirkung der rascheren Luftströme darin bestehe, die Geruchsflächen auf eine vollkommenere Art mit den Riechstoffen in Berührung zu bringen, indem theils durch den Anstoss des Stromes und theils durch die Reibung desselben ein die Absorption befördernder Druck erzeugt wird. Den Grund dafür, dass der aus der Lunge zurückkehrende Luftstrom in so geringem Grade den Geruch erweckt, findet H. Meyer darin, dass die in die Choanen gestossene Luft gar nicht oder wenigstens nur sehr theilweise in die Geruchspalte der Nasenhöhle gelangt. In der That liegt die zweite Muschel schon zum grössten Theil oberhalb der hintern Nasenmündung; man fühlt bei einiger Aufmerksamkeit deutlich den Unterschied im Verbreitungsbezirk der mit Macht eingezogenen und ausgestossenen Luft. Während im erstern Fall der Strom deutlich bis gegen die Decke der Nase aufsteigt, hält er sich im zweiten auf den untern und mittleren Nasengang beschränkt.

Den Einfluss der Richtung und Stärke der Luftströmung auf den Geruch hat besonders Bidder **) behandelt; er zeigte, dass beim Fehlen der untern Nasenmuschel, also bei mangelnder Beengung der Stromröhre, der Geruch abgeschwächt wird; ferner dass beim Anblasen von riechenden Substanzen gegen die Riechflächen die Empfindung fehlt oder schwach wird; ferner dass der in die Nasenhöhle gehaltene Kampfer während des Anhaltens der Athmung einen sehr schwachen Geruch gibt, der sich aber sogleich beim Einziehen von Luft steigert, und endlich dass, wenn man Kampfer in die Mundhöhle bringt und gleichzeitig durch die Nase die Luft ausstösst, eine nur schwache Empfindung auftritt.

*) Physiolog. Anatomie II. Bd. 144.

**) Wagner's Handwörterbuch II. Bd. p. 920. Siehe jedoch auch Longet, Traité de physiologie. Paris 1850. p. 159 u. f.

4. Der Zeitraum, welcher verfliesst, bevor die Geruchsempfindung erscheint nach dem Einbringen eines riechenden Luftstromes in die Nase, ist noch nicht bestimmt; eben so wenig als die Dauer der Empfindung nach Entfernung der Riechstoffe und die Geschwindigkeit, mit der im Geruchsorgan die Empfindung wechseln kann.

5. Das Objekt der reinen Geruchsempfindung legt die Seele geradezu in den Luftstrom, welcher in die Nase dringt; insofern wir im Stande sind, die örtlichen Verhältnisse dieses zu schätzen, vermögen wir auch den Ort und die Richtung im Gange des Riechstoffes durch die Nase zu bestimmen.

6. Vermischung der Geruchsempfindung zweier verschiedener Riechstellen, und der Gerüche mit Gefühls- und Geschmacksempfindungen. — α) Strömt in jedes der beiden Nasenlöcher gleichzeitig ein verschiedener Geruch, so vereinigen sich, nach Valentin, die beiden Gerüche nicht zu einem mittleren, sondern es tritt bald der eine und bald der andere Geruch in die Empfindung. — β) Gefühle und Gerüche, die von ein und derselben Substanz in der Nase erweckt werden, combiniren sich dagegen zu einer zusammengesetzten Empfindung; Beispiele hierfür bieten die zugleich riechenden und ätzenden Stoffe, wie das Ammoniak, die Essigsäure u. s. w. Man empfindet aber auch die Wirkungen zum Theil wenigstens gesondert, wenn man die erwähnten Substanzen bei angehaltenem Athem in die Nase bringt; sie ätzen dann den n. trigeminus und regen zugleich die von ihm abhängigen Reflexe (Thränenlaufen, Niessen) an, ohne das wir die Substanzen riechen (Bidder). — γ) Eben so häufig verschmelzen Geruch- und Geschmackempfindungen zu einer einzigen; wir werden beim Geschmack hierauf zurückkommen.

7. Wie sich unmittelbar mit den Empfindungen des n. opticus Raum- und mit denen des n. acusticus Zeitvorstellungen verknüpfen, so verbindet sich die Geruchsempfindung gewöhnlich mit einer leidenschaftlichen Stimmung, welche sich entweder begehrend oder abstossend gegen das Geruch ausströmende Objekt verhält; diesem Umstande verdankt man es, dass die Ausdrücke angenehmer, widerlicher u. s. w. Geruch selbst beim Gebildeten weitaus die Oberhand haben über die stoffliche Bezeichnung der Geruchsempfindung. Die Leidenschaften, welche bestimmte Gerüche erwecken, sind aber bekanntlich nicht immer dieselben, so dass einen Geruch jedesmal den Durst, Hunger, Geschlechtstrieb u. s. w. auslösste, sondern sie erregen nach der gerade gegenwärtigen Seelenstimmung

bald Eckel und bald Durst u. s. w. Wir heben diesen Punkt hier nur hervor, um darauf aufmerksam zu machen, dass man ihn im Gegensatz zu den gewöhnlichen Darstellungen des Geruchssinnes trenne von der unmittelbaren Beziehung zwischen Riechstoffe und Riechwerkzeugen. Im Einzelnen lässt sich über diese merkwürdigen Erscheinungen noch nichts sagen.

8. Binnengerüche. — Ohne dass die Atmosphäre geruchausströmende Stoffe enthält, entstehen doch häufig Geruchsempfindungen. In der Mehrzahl der Fälle können dieselben zurückgeführt werden auf die Gegenwart von Riechstoffen in den Lungen, der Mundhöhle, der Nase, welche aus dem Blute, oder auf irgend welche andere Art, hier abgesetzt sind. Seltener ereignet es sich, das im Hirn Zustände eintreten, welche zum Geruch Veranlassung geben; Träume, in denen der Geruch eine analoge Rolle spielt, wie Gesicht, Gehör und Gefühl, kommen, wenn überhaupt, gewiss sehr sparsam vor.

G. Geschmackssinn.

1. Anatomische Einleitung*). Die Flächen, die den Geschmack zu empfinden vermögen, sind noch nicht festgestellt; nach allgemein übereinstimmenden Angaben gehören zu den Trägern des Geschmacksinnes die Wurzel, die Ränder und deren nächste Umgebung auf Ober- und Unterfläche, die Spitze der Zunge der obere Theil der Vorderfläche des weichen Gaumens und der untere Theil des arcus glossopalatinus; nach bestrittenen Aussagen rechnet man aber auch dazu den Pharynx und endlich sogar die hintere Fläche des weichen Gaumens und den Schleimhautüberzug der Sublingualdrüsen.

Da es keine sichere anatomische Merkmale für die Ausdehnung dieses Sinnes gibt, wie sie Gesicht, Gehör und Geruch zukommen, und da die Nerven, an deren Verbreitung sich der Geschmack kettet, nicht durchweg bekannt sind, so muss die Vergleichung der Mundschleimhaut mit schmeckenden Stoffen in Anwendung gebracht werden, um die Orte unseres Geschmackssinnes zu ermitteln. Diese Versuche haben mit manchen Schwierigkeiten zu kämpfen: α) Viele Empfindungen, die sich aus einer Combination von Gerüchen und Tastempfindungen der Mundhöhle zusammensetzen, werden als Geschmack gedeutet; die Versuche müssen darum entweder mit geruchlosen Stoffen angestellt werden, oder die Nasenlöcher müssen gut verstopft sein. β) Viele Stoffe bedingen ganz besondere mechanische Umänderungen der Mundhöhle, z. B. Verschrumpfungen, Anätzungen, Abkühlungen u. s. w., die mit einem eigenthümlichen Gefühl empfunden werden; darum sind die Stoffe in mundwarmen Lösungen anzuwenden, welche weder rasch verdunsten, noch am Zahnfleisch, der Wangenfläche oder

*) Longet, Traité de physiol. II. Bd. a. 165. — Bidder, Art. Schmecken in Wagner's Handwörterbuch III. Bd. a. Schirmer in Meissner's Jahresbericht für 1856. Leipzig 1857. 591.

überhaupt an Orten, die nachweisslich nicht schmecken, die bezeichneten Gefühle hervorrufen. γ) Nicht alle Geschmacksmittel scheinen überall oder wenigstens nicht überall gleich leicht, wo überhaupt die spezifische Empfindung vorhanden ist, wirksam zu sein; es müssen darum jedesmal zur Prüfung verschiedene, mit entgegengesetzten Geschmäcken begabte Stoffe in Anwendung gebracht werden. δ) Die schmeckenden Flächen der Mundhöhle finden sich bei demselben Menschen nicht zu allen Zeiten in einem Zustand, der sie zur Geschmacksempfindung befähigte, es sind darum entweder gleichzeitig viele Menschen oder es ist derselbe Mensch zu verschiedenen Zeiten zu untersuchen. ε) Da die Prüfungsmittel in wässeriger Lösung angewendet werden müssen, die Geschmacksflächen aber mit capillaren Räumen überzogen sind, welche die Verbreitung der Flüssigkeit begünstigen, und da endlich die Geschmacksempfindungen nur lebhaft hervortreten, wenn die Schmeckstoffe über die Schleimhautflächen hin bewegt werden, so bietet die willkürliche Beschränkung der einwirkenden Stoffe Schwierigkeiten. Um diese zu erzielen, bedient man sich der befeuchteten Pinsel und Schwämme, schmeckender Pasten, die man in beschränkten Räumen bewegt, oder man bedeckt mit Wachstafft u. dergl. einzelne Theile der Zunge und des Gaumens, während man andere mit Flüssigkeiten bestreicht. Sollten sich die electrischen Erregungsmittel nicht vorzugsweise zur Prüfung eignen?

Da auch Flächen, welche keine Papillen besitzen, Theil am Geschmackssinn nehmen, so versteht es sich von selbst, dass die Papillen nicht die Bedingungen für ihn enthalten; ob nicht dennoch aber an dem Orte, wo sie vorkommen, die Papille von Bedeutung ist für Modifikationen des Geschmackes, kann nicht entschieden werden.

Ueber die alte Streitfrage, ob die Geschmacksnerven nur in der Bahn des n. glossopharyngeus oder zugleich auch in der des ram. III. n. trigemini laufen, siehe p. 196; auch Schirmer soll, wie Meissner berichtet, aus einer genauen Zergliederung der vorliegenden pathologischen Befunde beweisen, dass die Geschmacksempfindung beiden Nerven angehören.

2. Erreger der Geschmacksempfindung *). Der Sprachgebrauch belegt mit dem Namen „Geschmack" eine grosse Reihe von Empfindungen, denen er im strengeren Wortsinn nicht zukommt; namentlich werden Verknüpfungen von Temperatur- oder Geruchseindrücken mit Tastempfindungen der Mundhöhle geradezu als Geschmäcke bezeichnet, und ausserdem Verknüpfungen von Temperatur-, Tast- und Geruchseindrücken mit wahren Geschmacksempfindungen, mit Besonderheiten der Geschmäcke, verwechselt. Wie häufig dieses in der That geschieht und wie sehr die eben so oft ausgesprochene als auch wieder vernachlässigte Meinung begründet ist, dass die kühlenden, brennenden, stechenden, aromatischen Geschmäcke gar nicht als besondere Empfindungen der oben genannten Flächen bestehen, lehrt tausendfältige und tägliche Erfahrung. Wenn man beim Genuss aromatischer, ätherisch-öliger Mittel, z. B. des Knoblauchs, des Zimmts, der Vanille u. s. w.,

*) Chevreul, Journal de physiol. experimentale tom. IV. 1824.

die Nasenöffnungen mit dem Finger schliesst, so wird in dem Moment, in welchem dieses geschieht, auch der aromatische Geschmack ausgelöscht, der aber zurückkehrt, so wie die Nase der Luftströmung wieder geöffnet ist. Brennende, kühlende und schrumpfende Geschmäcke können aber gleichgut auf den Lippen, dem Zahnfleisch, kurz in jeglichem Mundtheil hervorgerufen werden, wie auf den Geschmacksflächen (Chevreul). Da man nun auch in den physiologischen, den Geschmack betreffenden Untersuchungen sehr häufig diesen Punkt vernachlässigte, so dürften in den folgenden Mittheilungen öfter Unrichtigkeiten enthalten sein. Als Erreger der Geschmacksempfindung zählen nun:

a) Galvanische Ströme*). Diese Strömung erregt an dem Orte ihres Eintritts in die Geschmacksfläche eine saure und an dem des Austritts entweder keine oder eine schwache kalische Empfindung, eine Empfindung, welche nach Versuchen von Volta und Monro unabhängig von den in dem galvanischen Strom erscheinenden electrolytischen Produkten der Mundflüssigkeit ist. — Ueber die besondere Beziehung des Geschmacks zu der Richtung und Intensität der Strömung gibt es bis dahin nur wenige Aufschlüsse; die in der Zunge (von der Spitze zur Basis) aufsteigende Stromrichtung soll stärker (oder sogar anders schmeckend?) wirken, als die absteigende (Pfaff). Obwohl der Geschmack während der ganzen Dauer einer geschlossenen Kette anhält, so sollen doch Schwankungen in der Intensität des Stroms, wie namentlich das Oeffnen desselben, eine Verstärkung erzeugen (Ritter und Lehot).

Legt man einen metallischen Bogen aus Kupfer und Zink an die Zunge, so dass das Zink die Zungenspitze und das Kupfer den Zungenrücken berührt, so entwickelt sich deutlich saurer Geschmack am Zink; da hier nun auch aus dem Speichel Säure ausgeschieden wird, welche diese Empfindung hätte erzeugen können, so muss, wenn gezeigt werden soll, dass der Strom geradezu, d. h. unabhängig von den Zersetzungsprodukten die Empfindung erregt, in die Umgebung des Zinkpoles eine alkalische Flüssigkeit gebracht werden, in welche die Zunge getaucht wird. Volta, der diese Modifikation des Versuchs ausführte, erhielt dann ebenfalls noch den sauren Geschmack. Andere beweissende Versuche siehe noch bei du Bois. — Dieser Geschmackserreger bedarf neuer Untersuchungen.

b) Eine gewisse Zahl von Flüssigkeiten gehört ebenfalls zu den Geschmackserregern; ihr allgemeines Merkmal, den geschmacklosen Flüssigkeiten gegenüber, ist unbekannt.

A) Die Art der Empfindung. α) Zunächst ist diese bestimmt

*) Du Bois-Reymond l. c. I. Bd. p. 287 Anmerk. u. p. 339.

von der chemischen Natur der Flüssigkeit; unter dieser ist hier jedoch keineswegs die Qualität und Quantität der Atome, aus der das Schmeckbare zusammengesetzt ist, zu verstehen, sondern gewisse allgemeine Categorien der Verwandtschaft. Denn es erzeugen z. B. den Geschmack des Sauren, des Kalischen, des Metallischen, des Salzigen Stoffe der allerverschiedenartigsten chemischen Zusammensetzung, wie z. B. Kali und Stibmethyliumoxyd, Schwefel- und Essigsäure, Eisen- und Kupfersalze u. s. w.; gleichschmeckende Stoffe haben dagegen in dem etwas gemeinsames, was man ihr electrochemisches Verhalten nennt. Für mehrere Geschmäcke fehlt uns aber auch noch dieses gemeinsame Merkmal, wie z. B. für das Süsse und Bittre; wir wissen insbesondere nicht welches gemeine Merkmal den Süssigkeiten des Zuckers, Glycerins, Glycocolls, Plumbum aceticum u. s. w. und anderseits den Bitterstoffen Chinin, Salicin, der Magnesia sulfurica u. s. w. zukommt. Bemerkenswerth für die Beziehung zwischen den Verwandtschafts- und Geschmacksäusserungen der Atome ist noch die Erscheinung, dass jedes Atom neben dem allgemeinen Geschmack des Sauren, Metallischen u. s. w. noch einen besonderen Beigeschmack besitzt, analog den Besonderheiten der Verwandtschaft, die jedes Atom vor andern voraus hat.

Da das Geschmacksorgan ein vielseitigeres und ebenso allgemeines, wenn auch kein so empfindliches chemisches Reagens ist, wie das Lakmuspapier, so würde es schon im chemisch-technischen Interesse sein, die Geschmäcke genauer als bisher zu prüfen, und Geschmacksreihen aufzustellen, in die man begreiflich nur die entschieden schmeckenden, chemisch reinen Verbindungen aufzunehmen hätte. Bei diesem Verfahren wäre ausser andern erwähnten Vorsichtsmaassregeln noch Rücksicht zu nehmen auf die Speichelzersetzung, deren Einfluss schon Chevreul gewürdigt hat.

β) Der Ort der Empfindung soll in der Weise auf den Geschmack Einfluss üben, dass ein und derselbe Stoff an der Spitze ganz anders schmeckt, als an der Basis der Zunge oder an den Gaumenflächen (Horn *)). So sollen namentlich der Zungenspitze mehrere Stoffe süss oder sauer erscheinen, die der Gegend der umwallten Warzen bitter vorkommen. Dieser Geschmackswechsel desselben Stoffes auf verschiedenen Flächen unseres Sinnes gilt nun wohl nicht in der Ausdehnung, wie ihn Horn zuerst behauptete, jedoch ist er für einzelne Stoffe, namentlich für Salze, ausgesprochen genug.

*) Ueber den Geschmackssinn des Menschen. Heidelberg 1825. Siehe einen Auszug mit Tabelle in Valentin's Lehrbuch der Physiol. II. b. 301. — Guyot und Admirault bei Longet l. c. p. 166.

Als Beispiele seien hier erwähnt:

Stoff.	Zungenspitze.	Zungenwurzel.	Stoff.	Zungenspitze.	Zungenwurzel.
KO $\overline{AC}$	brennend sauer	fadbitter.	Alaun.	sauer zusammenziehend.	süsslich ohne Säure.
Na Cl	salzig	süsslich (?).	Na O SO_3	salzig.	bitter.

Nach Schirmer*) wird dagegen eine Substanz, die an einem der schmeckenden Orte empfunden wird, auch an allen übrigen geschmeckt, es besteht nur insofern ein Unterschied, als bei Gemengen aus verschiedenen Geschmackserregern, wie z. B. Salz und Zucker, Salz und Essig, Salz und Chinin, Zucker und Essig, Zucker und Chinin, Essig und Chinin, die Zungenspitze (weniger deutlich die Zungenbasis), den einen Geschmack schneller wahrnimmt, als den andern, und dass der zuerst auftretende Geschmack nicht desshalb früher wahrgenommen wird, weil er in der Mischung überwiegt. Der salzige Geschmack wird schneller wahrgenommen, als der süsse, dieser schneller, als der saure, und der letztere wiederum rascher, als der bittere. Aehnlich wie die Zunge verhält sich auch der Gaumen mit dem Unterschiede, dass der zweite Geschmack später auftritt. Der arcus glossopalatinus lässt beide Geschmäcke gleichzeitig auftreten und daselbst verdrängt der bittere Geschmack, wenn der Erreger des Bittern in der Mischung überwiegt, die übrigen. Schirmer führt diese Verschiedenheiten darauf zurück, dass an der Zunge und dem weichen Gaumen die schmeckenden Werkzeuge verdeckter, als am vordern Gaumenbogen liegen. Aus diesen Beobachtungen und den ihr zugefügten Erläuterungen erklärt sich der bittere Nachgeschmack.

B) Die Intensität der Geschmacksempfindung bei Gegenwart flüssiger Erreger ist abhängig von sehr zahlreichen Umständen und zwar *α*) von dem Erregbarkeitszustand des Nerven, wie wir mehr vermuthen, als sicher wissen. — *β*) Von dem Ort der Erregung, indem nach Guyot und Admirault gewisse Stoffe (Milch, Butter, Oel, Brod u. s. w.) auf der Zungenspitze gar nicht, dagegen im Gaumen, und der Zungenwurzel sehr intensiv schmecken sollen. Auf welche Art von Schätzung sich der gewöhnliche Ausspruch gründet, dass die Zungenspitze, oder nach andern der Gaumen, vorzugsweise fein schmecke, ist nicht angegeben. — *γ*) Die Menge der gleichzeitig erregten Röhren der Geschmacksnerven; wir

*) Meissner's Jahresbericht. Leipzig 1857. p. 594.

schmecken bekanntlich einen Stoff, der unsre ganze Mundhöhle ausfüllt, intensiver, als einen solchen, der nur wenige Stellen der Zunge berührt. Der Unterschied von mehr oder weniger gleichzeitig erregten Nerven zeigt sich namentlich darin, dass sehr verdünnte wässrige Lösungen schmeckender Stoffe keine Empfindung mehr erregen, wenn sie in geringer Menge in den Mund genommen werden, während sie in grössern Quantitäten deutlich schmecken (Valentin). — δ) Zeitdauer der Einwirkung; der Geschmack steigt zuerst mit der Dauer der Anwesenheit des schmeckenden Stoffes und nimmt dann mit ihr ab, analog den Empfindungen der übrigen Sinne. — ε) Die Empfindung wird gesteigert durch den Contrast, d. h. wenn Stoffe, welche verschieden schmecken, in rascher zeitlicher Folge die Geschmacksnerven treffen. — ϑ) Zustände der absondernden Drüsen der Mundhöhle und ihrer Säfte, des Epithelialüberzugs, des Wassergehaltes, der Blutgefässfüllung, der Temperatur der Geschmacksflächen. Die Wirkungen dieser Umstände sind nur sehr oberflächlich bekannt; Kälte und Trockenheit des Mundes, Zungenbeleg, gelinde Entzündungen der Mundhöhle vermindern die Empfindlichkeit, wahrscheinlich nur darum, weil sie die Wechselwirkung der Nerven und des Erregers beeinträchtigen. — η) Die Stärke des Geschmacks wächst mit dem Procentgehalt einer Lösung an schmeckbaren Stoffen. Nach Valentin*) liegt für wässerige Lösungen von Zucker zu 1,2 pCt.; von NaCl zu 0,2 bis 0,5 pCt.; von SO_3 zu 0,001 pCt.; von schwefelsaurem Chinin zu 0,003 pCt. die Grenze der Schmeckbarkeit, vorausgesetzt, dass die Stoffe unter den günstigsten Bedingungen in die Mundhöhle gebracht wurden. — ζ) Die Fähigkeit des Schmeckens wird unterstützt durch Bewegungen, welche die schmeckenden Flächen und Stoffen aneinander vornehmen, wie durch Zungen- und Gaumenbewegung oder durch Einpinseln der Schmeckstoffe auf Gaumen und Zunge.

3. Geschwindigkeit des Eintrittes des Geschmacks; Nachgeschmack, Wechsel des Geschmacks sind Namen, die mehr auf zukünftige, als schon begonnene Untersuchungen deuten.

4. Die Verbindung der Leistungen von Geschmack-, Geruch- und Tastnerven zu einer einzigen Empfindung ist noch niemals einer genauen Untersuchung unterworfen gewesen; aus den Thatsachen des gewöhnlichen Lebens scheint aber zu folgen, dass nur

*) Lehrbuch der Physiologie II. Bd. b. p. 301.

der Geruch als eine Erregung der Geschmacksnerven empfunden wird, dessen erzeugender Luftstrom von der Mundhöhle ausgeht, während gleichzeitig die Tastnerven des Mundes in energischer Weise erregt sind. Durch die Verknüpfung der Tast- und Geschmacksempfindung scheint uns die Vorstellung der Oertlichkeit im Geschmackssinn zu entstehen; denn wir schmecken bekanntlich jedesmal zugleich den Ort der Berührung zwischen Schmeckstoff und Geschmackflächen.

4. In fast noch höherm Grade, als an den Geruch, knüpfen sich an den Geschmack leidenschaftliche Vorstellungen, die auch hier sehr häufig, selbst für Physiologen den Beweggrund abgeben von angenehmen, widerlichen, ekelhaften Geschmäcken zu sprechen, obwohl alle diese Worte keine unmittelbare Geschmackseindrücke bedeuten, sondern sich auf Vorstellungen beziehen, die der Geschmack erweckte. — Zugleich sind die Geschmacksnerven reflektorisch mannigfach verkettet, wie z. B. mit Speichelnerven, den Nerven der Schlingorgane zum Einleiten des Schlingens und Brechens u. dgl. Treten solche reflektorische Wirkungen neben den Geschmäcken ein, so entstehen besondere weiter combinirte Gefühle, z. B. der Ekel u. dgl., die man ebenfalls häufig mit einfachen Geschmacksempfindungen verwechselt hat.

Binnengeschmäcke, denen eine andere Ursache, als eine Veränderung in der Zusammensetzung der Mundsäfte, zu Grunde liegt, sind nicht bekannt. Geschmacksträume sind ebenfalls nicht beobachtet.

H. Gefühlsinn.

Alle*) Massen und Flächen des menschlichen Körpers, welche aus den hinteren Spinalwurzeln und den empfindlichen Stücken der Nn. trigeminus, glossopharyngeus, vagus und accessorius ihre Nerven erhalten, bringen gewisse Veränderungen ihrer Zustände unter der besondern Empfindung des Gefühls zum Bewusstsein. Die Gefühle aller dieser Körperregionen zeigen nun unter gewissen Umständen eine vollkommene Uebereinstimmung; unter andern Bedingungen weichen dagegen die Gefühle einer Reihe von Oertlichkeiten beträchtlich ab von denen der übrigen. Die Uebereinstimmung liegt darin, dass alle mit jenen Nerven begabte Orte die empfindenden Theile des Hirns in einen Zustand versetzen können, der sich nur mit leidenschaftlichen Aufregungen der Seele verknüpft, ohne un-

*) E. H. Weber, Artikel Tastsinn in Wagner's Handwörterbuch.

mittelbar zu Vorstellungen über die Natur des Erregungsmittels zu führen; alle können, um mit den gebräuchlichen Worten zu sprechen, Kitzel und Schmerz erzeugen. Die Verschiedenheit begründet sich aber dadurch, dass eine beschränkte Zahl von Stellen des menschlichen Körpers neben jenen Gefühlen auch noch Tast-, Druck- und Temperaturempfindung erzeugt, d. h. mit ihrer Erregung verknüpft sich zugleich unlösbar eine bestimmte Vorstellung über gewisse Eigenschaften der Erreger.

A) Schmerz.

Kitzel, Gemeingefühl und Schmerz sieht man gemeinhin als verschiedene Arten einer Gefühlsgattung an. Man wird dahin geführt durch das Verhalten der Reize, welche jene Gefühle einleiten. Von diesen drei Abstufungen ist aber nur der Schmerz wissenschaftlich untersucht, weshalb sich das folgende ausschliesslich auf ihn bezieht. — Die Schmerzempfindung kann ausgelöst werden nicht allein durch die Erregung der Endverbreitung der schon genannten Nerven, sondern auch durch die Reizung ihrer Stämme.

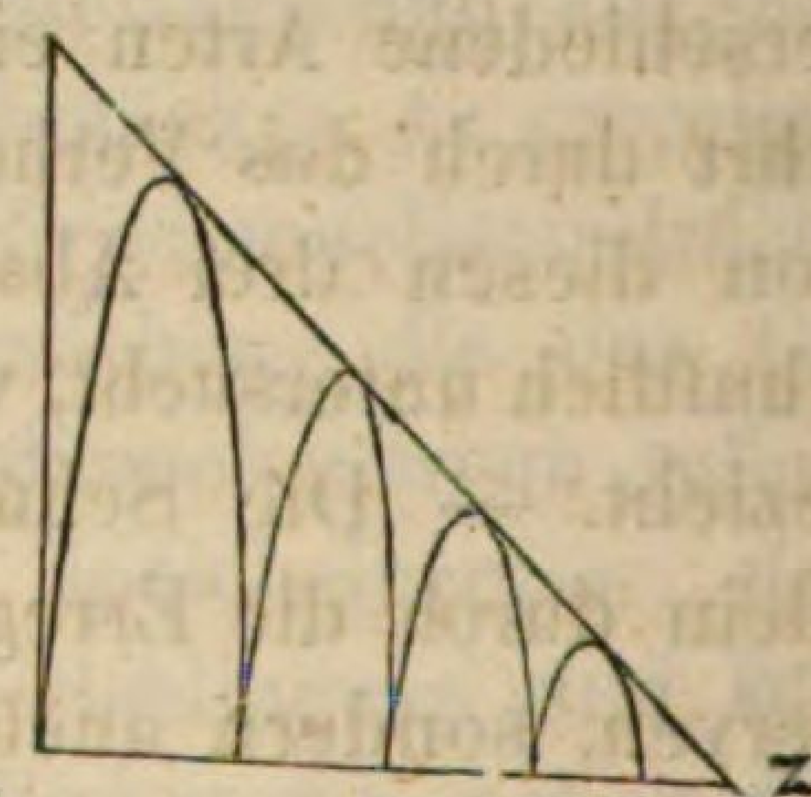
1. Erreger; a) Electrizität*). Um ihre Beziehungen zu den Gefühlsnerven aufzudecken, muss man sie auf die natürliche Lagerstatt jener Nerven, z. B. auf die Haut einwirken lassen. Diese Versuchsweise stellt begreiflich die gewünschten Thatsachen nicht rein hin, weil die Electrizität in der Haut, neben einem unvermittelten Angriff auf die Gefühlsnerven auch noch anders verändert oder verändern kann, z. B. den Blutgefässdurchmesser, die Haarbalgmuskeln, die geometrische und chemische Anordnung der Hautsäfte und Gewebe (durch Elektrolyse, Zerreissung und Verbrennung), Umstände, die selbst wieder erregend eingreifen. Aus diesem Grunde lässt sich nur mit Wahrscheinlichkeit behaupten, dass für die Erregung der Gefühlsnerven durch Electrizität derselbe Satz gelte, welchen du Bois für die Muskelnerven ausgesprochen; er lautet dahin: dass nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum andern die Erregung bedingt und zwar ist diese letztere um so bedeutender, je grösser die erstgenannten Veränderungen in der Zeiteinheit waren. Für die Reibungselectrizität, welche günstig angewendet, weder verbrennt noch zer-

*) Du Bois-Reymond I. Bd. 283 und 354. — Riess, die Lehre von der Reibungselectrizität. Berlin 1853. II. Bd. p. 61 u. f. — C. Eckhard, Beiträge zur Anatomie u. Physiologie, Giessen 1855. p. 55. — Duchenne, Union medicale. Mai 1856.

reisst oder merklich electrolysirt, lässt sich dieser Satz wenigstens sehr wahrscheinlich machen.

Zum Verständniss des Folgenden ist vorauszuschicken, dass man an der bewegten oder ruhenden Electrizität unterscheidet die Menge und die Dichtigkeit. Erstere wird gemessen durch die Zahl gleichgrosser Funken, die man auf einen isolirten Leiter gebracht und letztere (die Dichtigkeit) ist gegeben durch das Verhältniss zwischen der Oberfläche des Leiters zu der in ihr aufgehäuften Electrizitätsmenge. Die Zeit, welche nöthig ist, um die auf dem isolirten Behälter angesammelte Electrizitätsmenge durch einen leitenden Bogen zu entleeren, ist direkt proportional dem Leitungswiderstand (der bekanntlich selbst wieder von der chemischen Natur des Stoffs, dem Querschnitt und der Länge des Leiters abhängt), sie ist ferner direkt proportional der zu entleerenden Menge, und umgekehrt proportional der Dichtigkeit (da mit ihr die beschleunigende Kraft wächst). Diese Entladung durch Leitung geht nun aber nach Riess nicht gleichmässig, sondern stossweise vor sich, wie dieses graphisch durch Fig. 96 ausgedrückt wird. In ihr bedeutet die Abszisse *az* die ganze Entladungszeit und die Ordinaten stellen dar die Dichtigkeit, welche die Electrizität in jedem Augenblick dieser Zeit in dem Leiter besitzt.

Fig. 96.



Schaltet man die wohlbefeuchtete Haut in einen guten Leiter (Metall, Salzlösungen u. s. w.) ein, so würde die Regel von du Bois mit Rücksicht auf den so eben graphisch dargestellten Leitungsvorgang der Reibungselectrizität lauten: die erregenden Kräfte der letzteren sind um so grösser, je höher und zahlreicher die Zacken ausfallen, welche auf der Längeneinheit der Abszisse stehen. Weil nun die Gestalt der partiellen Entladungscurven nur mit annähernder Genauigkeit verzeichnet werden kann, so ist auch ihre physiologische Leistung im angedeuteten Sinne nur wahrscheinlich zu machen. Dieses geschieht durch folgende Versuche. 1. Eine gegebene Electrizitätsmenge, die unter einem bedeutenden Widerstand im leitenden Bogen durch die Haut entleert, in dieser letztern keinen Schmerz mehr erregt, wirkt augenblicklich schmerzhaft, so wie der Leitungswiderstand vermindert wird. Dieses ist unsrer Regel gemäss, da mit dem Leitungswiderstand die Entleerungszeit jener Menge zu und damit die Steilheit der Zacken abnimmt. (Munk, Rosenschöld.) 2. Hat man verschieden grosse Flächen mit einer ihnen proportionalen Electrizitätsmenge geladen, also 1, 2, 3 □ Zoll mit 1, 2, 3 Funken, so erhält man aus der grossen Platte einen schmerzhafteren Schlag, als aus der kleinern (du Bois). 3. Wenn man ein und dieselbe Electrizitätsmenge bald auf eine kleinere oder grössere Platte bringt, so schlägt die kleinere, dichter

gefüllte, schmerzhafter, als die grössere. 4. Die Schmerzen, welche eine grosse Platte mit weniger dichten Electrizität gefüllt und eine kleinere dichter geladene erzeugen, sind qualitativ verschieden. Die Schmerzen der dichtern und kleinern sind stechend, die der grössern stumpf (Volta). 5. Dichtigkeit und Menge der Electrizität steigern bei ihrem Wachsthum nicht in gleicher Weise den Schmerz. Cavendisch zeigte, dass eine Platte mit der Electrizitätsmenge 1 und der Dichtigkeit 1 weniger schmerzhaft angriff, als eine Electritätsmenge 2 von der Dichtigkeit $^1/_2$. Die physiologische Erregung wächst also rascher mit der Menge, als der Dichtigkeit.

Die Reibungselectrizität greift ganz anders ein, wenn sie, statt durch Leitung, sich durch einen Funken entladet, was jedesmal geschieht, wenn sie durch die Luft oder einen sonstigen Halbleiter aus ihrer Lagerstätte in die Haut eingeht. Im Fall der Funken gross war, wie bei Blitzschlag, zerreisst und verbrennt er die Haut; kleinere Veränderungen erzeugt der schwächere Funken, worüber bei Riess und den dort zitirten Schriften das Nähere zu finden.

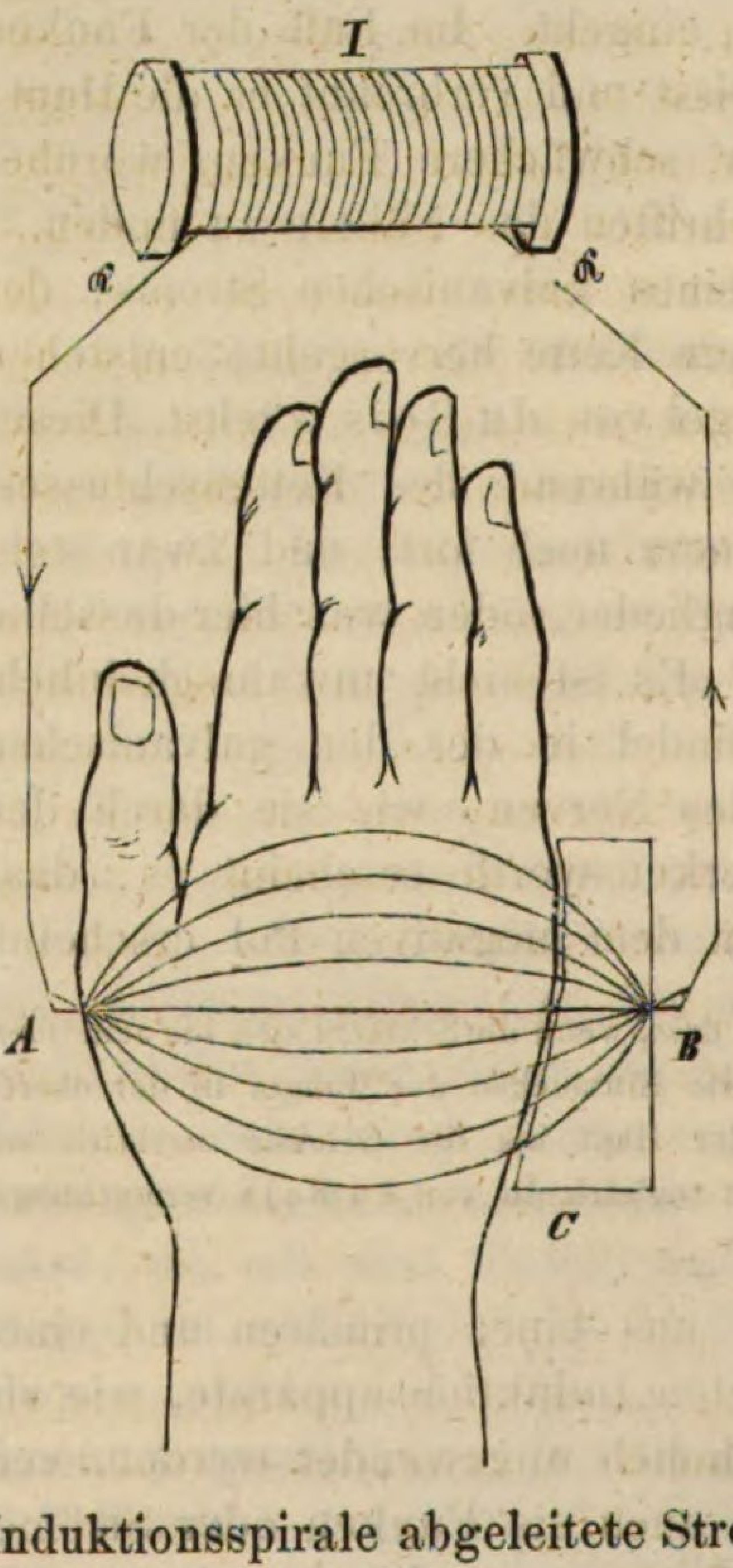
Beim Oeffnen und Schliessen eines galvanischen Stroms, der aus einer vielgliederigen galvanischen Kette hervorgeht, entstehen Schmerzen, deren Grad nach der Regel von du Bois wächst. Dieser Regel entgegen dauert aber auch während des Kettenschlusses, also im constanten Strom, der Schmerz noch fort, und zwar steht er im Verhältniss zur Zahl der Kettenglieder, oder, was hier dasselbe bedeutet, zur Intensität des Stroms. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass diese Erregung ihren Grund findet in der den galvanischen Vorgang begleitenden Electrolyse des Nerven, wie sie durch den Electrotonus angedeutet ist. Bemerkenswerth erscheint es, dass der Schmerz vorzugsweise heftig an dem negativen Pol erscheint.

Aeltere Beobachter wollten bemerkt haben, dass, wenn die Schmerz sich bis zum Oberarm verbreitet, den eine vielgliedrige Kette beim Eintauchen der Finger in der oberen Extremität hervorruft, er vorzugsweise in der Haut um die Gelenke merklich sei. Eckhardt leugnet das Phänomen und widerlegt zugleich die von du Bois vermuthungsweise gegebene Erklärung desselben.

Die besondern Wirkungen der aus einer primären und einer sekundären Spirale zusammengesetzten Induktionsapparate, wie sie gegenwärtig von den Aerzten gewöhnlich angewendet werden, verdienen noch einer Erwähnung. Da auch sie Funken oder Ströme, je nach ihrer Verbindung mit der Haut, aussenden, so ist es begreiflich, dass die Phänomene, welche an der Maschinenelectrizität beobachtet werden, auch hier zur Geltung kommen. Durch einen

besondern Kunstgriff hat aber Duchenne es möglich gemacht, starke Induktionsströme durch die Haut auf tiefer liegende Gebilde wirken zu lassen, ohne dass die Haut sehr schmerzhaft affizirt wurde. Er umgibt nämlich die Enden des metallischen Bogens mit einer Schicht eines schlechtleitenden feuchten Leiters (Wasser), und bringt dann diese erst auf die wohl durchfeuchtete Haut. Hierdurch gelingt es ihm, den Ort, an welchen der Strom ausserhalb des Metalls die grösste Dichtigkeit annimmt, von der Haut weg in den feuchten Leiter zu legen, ein Erfolg, den das Ohm'sche Gesetz verlangt. Die theoretische Erklärung dieser wichtigen electrotherapeutischen Verbesserung giebt Fig. 97. *I* sei die sekundäre Rolle auf dem Schlitten von du Bois, *αA* und *αB* seien die metallischen Enden desselben. Zwischen beiden sei die Hand eingeschaltet und zwar sei auf der Kleinfingerseite das metallische Ende *A* unmittelbar an die Haut, dagegen *B* erst auf ein befeuchtetes Leder *C* angelegt, das dann erst wieder mit der Hand in Berührung ist. Beim Uebergang der electrischen Strömung von *A* nach *B* wird sich der electrische Strom vertheilen, nach Maassgabe der dargestellten Curven, welche gegen den metallischen Berührungspunkt zusammenlaufen, an dem also die höchste Dichtigkeit, d. h. die schmerzhaft wirkendste Stelle des Stroms gelegen ist. In dem einen Fall (*A*) findet sich dieser Ort in der Haut, bei *B* aber im feuchten Leder.

Fig. 97.



Duchenne behauptet ausserdem, dass der aus der primären Induktionsspirale abgeleitete Strom weniger schmerzhaft sei, als der der sekundären Rolle.

b) Chemische Atome; die verschiedensten Stoffe und Verwandtschaftskategorien, nämlich alle Arten von Säuren, Alkalien, Salze,

Alkohol, gepaarte Basen etc., sind im Stande Schmerzen zu erregen, wenn sie in einiger Conzentration auf den Nerven wirken.

Der Ort des chemischen Angriffs bedingt für den Werth der Nervenerregung sehr grosse Verschiedenheiten, wenigstens beim Froschnerven. Verdünnte Schwefelsäure, die eben angenehm sauer schmeckt, löst von der Haut her sehr lebhafte Reflexe aus, während erst eine mehr als 20 p.C. Säure dasselbe von den hintern Wurzeln aus vermag. Aehnlich verhält sich Ammoniak, während Aetzkali in der Haut und auf dem Stamme gleicher Empfindlichkeit begegnet.

c) Temperaturen. Die Zunahme sowohl als die Abnahme der normalen Körpertemperatur bedingt bekanntlich Schmerzempfindung, wenn die Abweichung einen nicht zu beschränkten Werth erreicht, wie bedeutend die Temperatur des Nerven zu dem Ende steigen oder sinken muss, ist nicht ermittelt. Nach Beobachtungen von E. H. Weber ist eine Steigerung der Oberhauttemperatur auf 48 bis 49° C. und eine Erniedrigung derselben auf 12 bis 11° C. hinreichend, um Schmerz zu erregen. Ausserdem lehrt die tägliche Erfahrung, dass, alles Andere gleichgesetzt, der Schmerz innerhalb gewisser Grenzen um so heftiger wird, je höher, bezüglich je tiefer die einwirkende Temperatur ausfällt. Mit irgend einem noch näher zu bestimmenden Werth der Temperaturerniedrigung, oder ihrer Erhöhung scheint dagegen die Schmerzempfindung ihr Maximum zu erreichen, so dass dann mit noch weiter getriebenem Steigen oder Sinken der Temperatur keine weitere Steigerung der Schmerzempfindung zu erreichen ist.

Gleich temperirte Medien erwecken an verschiedenen Hautstellen Schmerzen von ganz ungleicher Stärke. Der Grund hierfür scheint zum Theil in dem ungleichen Gehalt derselben an Nervenröhren, zum Theil an einer sehr verschiedenartigen Dicke der Epidermis zu liegen, welche den Uebergang der Wärme in den Nerven bald mehr, bald weniger erschwert.

Aus der Temperatur der Oberhaut oder des Mediums, z. B. des Wassers, in welches ein Glied eingetaucht wird, kann die Temperatur der Nerven nicht erschlossen werden, da die Temperatur, die Wärmeleitung u. s. w. des in dem Nervenlager strömenden Blutes, ebenfalls bestimmend für den Wärmegrad des Nerven mit eintritt. Schon aus diesem Grund dürfte es schwer oder besser unmöglich sein, den Temperaturgrad anzugeben, den ein Medium besitzen muss, damit ein in dasselbe eingetauchtes Glied verschiedenen Menschen Schmerz erzeugt; denn je nachdem das Blut in einem Gliede mehr oder weniger rasch kreisst oder gleichzeitig in grösseren Mengen vorhanden ist, oder endlich eine etwas niedere oder höhere Eigenwärme besitzt, wird es im Stande sein, dem Eindringen einer fremden Temperatur einen grösseren oder geringeren Widerstand entgegen zu setzen.

d) Mechanische Einwirkungen. Welche Veränderung der Nerv unter dem Einfluss mechanischer Gewalten erlitten haben muss, um Schmerz zu erregen, ist unbekannt; fest steht hier nur, dass nicht jede Verstümmelung des Nerven schmerzhaft ist; denn ein rasch durchschnittener Nerv erzeugt während und nach seiner Trennung kaum einen Schmerz, den selbst schwache oder anhaltende Zerrungen und Drücke der Haut sehr heftig erregen.

2. Abhängigkeit des Schmerzes von der Zeitdauer und der Ausbreitung der Erregung. — a) Mit der Summe der gleichzeitig erregten Primitivröhren wächst der Schmerz. Diese Thatsache weist auf eine Summirung der in den einzelnen Primitivröhren vorkommenden Erregung durch die Empfindungsorgane hin (E. H. Weber). — b) Mancherlei schwache Eingriffe erzeugen, wenn sie vorübergehend wirken, keinen Schmerz; dieser tritt erst ein nach einer geringern oder grösseren andauernden Reizung, selbst wenn diese letztere nicht lange genug anhielt, um Folgen zu bedingen (z. B. Entzündung), welche selbst wieder als schmerzerzeugende Ursachen anzusehen wären. Der Grund für diese Erscheinung kann, so weit wir jetzt sehen, ein vierfacher sein. — Entweder das Erregungsmittel bedarf einer längern Zeit, um bei bestehender geringerer Intensität durch die Bedeckungen hindurch in voller Kraft auf den Nerven zu gelangen; oder das Erregungsmittel breitet allmählig seine Wirkung auf eine grössere Zahl von Nervenröhren aus; oder der dauernde erregte Zustand, verbunden mit der Anwesenheit des besondern Erregungsmittels, verändert die Erregbarkeit des Nerven; und endlich die in zeitlicher Folge auf den Nerven wirkenden Angriffe werden im Nerven oder in dem Empfindungsorgan des Hirns summirt.

Als Beispiele für das genannte Verhalten mögen gelten: die Eigenschaften solcher Wärmegrade, welche nahe an der Schmerztemperatur liegen; sie müssen bis zu dem Eintritt von Schmerz oft minutenlang eingewirkt haben (E. H. Weber). Die Erklärung dieser Erscheinung scheint darin zu liegen, dass mit der Dauer der Temperatursteigerung auch ihre Ausbreitung wächst; es scheint sich also die Erwärmung oder Abkühlung auch auf anliegende Nervenstämme zu erstrecken. — Ein merkwürdiges Beispiel bietet der Versuch von Türk (p. 166 d.) am halbdurchschnittenen Froschrückenmark; er scheint nur durch eine Summirung in der Seele erklärlich, da hier nicht einmal an eine veränderte Erregbarkeit des Nerven gedacht werden kann wegen des ausbleibenden Erfolgs an der entgegengesetzten Seite.

c) Längere Andauer einer schwachen oder selbst kürzere einer heftigen Erregung vermindert den zugehörigen Schmerz. Wahrscheinlich wegen Abstumpfung der Erregbarkeit.

3. Bestimmung des schmerzenden Ortes. Die Schmerzempfindung ist stets mit einer Ortsempfindung verknüpft; und zwar empfinden wir jedesmal den schmerzhaften Ort als einen Theil unseres Leibes. Diese Ortsangabe wird insbesondere bestimmt durch den in Erregung versetzten Nerven, in der Art, dass jeder Nerv eine bestimmte Ortsempfindung erweckt, die niemals durch einen andern gegeben werden kann. — Jeder Nerv scheint aber auch wiederum zur Erzeugung einer einzigen Ortsempfindung geschickt zu sein, so dass es in dieser Beziehung für die Empfindung gleichgiltig ist, auf welchem Punkt seines Verlaufs er von der schmerzerregenden Einwirkung getroffen wird. Dieser letzteren Angabe gemäss wird der Ort eines Angriffs sehr häufig in der Empfindung ein anderer als der der des wirklichen Angriffs auf den Nerven sein; der scheinbare Ort des Angriffs, auf welchen jedesmal die Empfindung verlegt wird, ist immer das normale peripherische Ende des Nerven. Wie dieser Ort sehr häufig nur der scheinbare des Angriffs ist, so ist er auch immer derjenige der scheinbaren Empfindung, indem erwiesener Maassen nicht in der Peripherie des Nerven, sondern in irgend einer noch näher zu bestimmenden Stelle des Hirns diejenige Wechselwirkung zwischen Seele und Nerven stattfindet, welche zunächst die Empfindung darstellt.

Den obigen Sätzen liegen tausendfältige, leicht zu beobachtende Thatsachen zu Grunde. Zunächst wissen wir aus der täglichen Erfahrung, dass die Nerven eines jeden Körpertheils nur die Empfindung einer Oertlichkeit veranlassen; es tritt hierin niemals eine Verwechslung ein. Wenn aber auf irgendwelche Anregung neben dem Orte des ursprünglich ergriffenen noch der eines anderen Nerven schmerzt, so liegt der Grund hierfür nachweislich immer darin, dass durch den ursprünglich von der schmerzhaften Empfindung ergriffenen Nerven innerhalb des Organismus ein Vorgang eingeleitet wird, vermöge dessen der Nerv des anderen Ortes ebenfalls in Erregung kommt. Demgemäss empfindet man den zweiten Ort immer in Folge einer besondern Affection eines zweiten Nerven. — Davon aber, dass ein Nerv, insofern er schmerzt, nur eine einzige Ortsempfindung zu geben im Stande ist, selbst wenn er auf sehr verschiedenen Stellen seines Verlaufs vom Hirn oder Rückenmark zur Peripherie angeregt wurde, davon überzeugen uns die mannigfachsten Erscheinungen an Gesunden und Kranken. So geben z. B. die in dem n. ulnaris verlaufenden sensiblen Fäden immer die Empfindung der Ulnarseite der Hand und der beiden letzten Finger, mag man sie an ihrer Endverbreitung oder an ihrem Verlauf um den condylus humeri internus, oder am humerus neben der arter. brachialis drücken. Aehnlich verhalten sich der n. ischiadicus, medianus etc., kurz jeder Nerv, der den Einwirkungen erregender Mittel noch an andern Stellen, als an seiner peripherischen Verbreitung zugänglich ist. Noch überraschender gestalten sich die Erscheinungen bei Kranken; bei Anschwellungen in den Rändern derjenigen Knochenöffnungen, durch welche Nervenstämme oder -Aeste treten, und einen durch diese Anschwellungen auf den Nerven ausgeübten Druck, suchen die

Kranken jedesmal den Sitz der heftigen Schmerzen in den peripherischen Enden des Nerven, d. h. es schmerzt nicht die Stelle des Druckes, sondern das Glied, in welchem der gedrückte Nerv sich ausbreitet. Dieses ist am auffallendsten, wenn in Folge einer Amputation etc. die Peripherie des Nerven fehlt; es erscheint dann, wenn die noch mit dem Hirn in Verbindung stehenden Stümpfe der Nerven, die zu dem abgeschnittenen Körpertheil gehören, erregt werden, der Schmerz in den fehlenden Theilen mit einer solchen Lebhaftigkeit, dass die Kranken den Verlust der Glieder vergessen. Die Allgemeingiltigkeit dieser wichtigen, von J. Müller zuerst in ihrer ganzen Bedeutung aufgefassten Thatsache ist von Volkmann bestritten worden. Er hob hervor, dass, wenn mann einen Nervenstamm auf seinem Verlaufe presse, man neben dem Schmerz im Nervenende auch an der Stelle des Druckes eine schmerzhafte Empfindung besitze. Dieses treffe namentlich zu, wenn man den nerv. ulnaris auf seinem Verlauf um den condyl. intern. humeri presse. — Es besteht hier unzweifelhaft ein der Druckstelle entsprechender örtlicher Schmerz neben den Schmerzen der Hand; sehr wahrscheinlich rührt dieser aber nur von sehr zahlreichen Ausbreitungen des n. cutan. internus her, die hier über dem n. ulnar. in der Haut geschehen; denn in der That ist die von Volkmann hervorgebobene die einzige Stelle, wo neben dem Schmerz in der Peripherie Schmerz an der Druckstelle erzielt wird, wie man sich sogleich überzeugt, wenn man durch leises Zerren mit dem Finger den n. ulnaris neben der arter. brachialis erregt. Hier fühlt man deutlich ausser der Berührung der darüberliegenden Haut keinen andern Schmerz als den der Hand.

Die auf die Empfindung des Orts bezüglichen Thatsachen erklärt eine von E. H. Weber angeregte und von J. Müller weiter gebaute Hypothese; nach dieser stehen die Nervenprimitivröhren durch ihr Hirnende in einer bestimmten örtlichen Beziehung zu den Empfindungsorganen, so z. B. dass jeder separat empfundene Theil unseres Körpers im Hirn durch eine Primitivröhre repräsentirt wird. Erregungszustände, welche in diesen Primitivröhren stattfinden, dringen in denselben isolirt, ohne sich einer benachbarten Röhre mitzutheilen, in das Empfindungsorgan. An der Berührungsstelle dieses letztern mit dem Nervenprimitivrohr geschieht die Empfindung. Aus diesem Theil der Hypothese ist begreiflich, dass jedes Nervenrohr nur eine Empfindung geben kann, mag auch der Eindruck auf dasselbe wo immer geschehen; ferner dass die Empfindung in gleicher Weise fortbesteht, so lange das Nervenrohr noch in ungetrübter Verbindung mit dem Hirn sich findet, mag es auch in seinem Verlauf noch so sehr verstümmelt sein und endlich, dass jedes Nervenrohr eine von dem anliegenden verschiedene Empfindung gibt. Um aber begreiflich zu machen, warum die Empfindung nicht als ein Zustand des Hirns — d. h. des Ortes, an dem sie nach obiger Hypothese geschieht — sondern als ein solcher der Organe gefühlt werde, muss man zu einer besondern Seelenwirkung seine Zuflucht nehmen, vermöge deren, um den Sprachgebrauch der Physiologen anzuwenden, die Empfindung ausserhalb des Hirns an die Peripherie des Nerven gesetzt, d. h. auf eine Ursache an den Nervenenden bezogen wird. Die Seele soll aber gerade auf diesen Ort des Nervenverlaufs die Empfindung beziehen, weil dieser durch seine Lagerung den meisten Angriffen ausgesetzt ist.

4. Beharrungsvermögen des Schmerzes; Nachschmerz. Wie es scheint momentan mit dem Beginn der Einwirkung des erregenden Mittels entsteht die Empfindung. Keineswegs verliert sie sich aber unter allen Umständen mit dem Verschwinden des Erregungsmittels. Sie kann die Zeit der Einwirkung dieses

letzteren beträchtlich überdauern, wie die Thatsachen des gewöhnlichen Lebens lehren. Die Art, in welcher sich diese sogenannte Nachempfindung geltend macht, ist verschiedenartig; entweder es besteht die Empfindung in ganz gleicher Weise fort, als während der Reitzungsdauer; oder es ist die Empfindung in dem früher schmerzhaften Nerv dumpfer, als in den benachbarten Stellen, wenn sie beide gleichzeitig von einer anderweitigen Erregungsursache getroffen werden. In beiden Fällen scheidet sich also der Nerv in der Empfindung von seinen Nachbarn aus; in dem erstern, wie es scheint, durch einen dauernden Erregungszustand; in dem zweiten dagegen offenbar dadurch, dass der Nerv geschwächt zurückbleibt, so dass er nun durch eine neue Einwirkung weniger erregt wird, als seine ungeschwächten Nachbarn. Die Nachschmerzen scheinen um so stärker hervor zu treten, je anhaltender das Erregungsmittel einwirkte. Hierher gehören die Beispiele der andauernden Schmerzempfindung nach langen Druckwirkungen seitens enger Kleidungsstücke etc.

Die Lehre von der Nachempfindung, d. h. von dem Antheil, welcher dem Nerven an ihr zukommt, wird erst dann einen Fortschritt machen, wenn man die Folgen genauer zu würdigen gelernt hat, welche das Erregungsmittel auf die den Nerv umgebenden Gewebe ausübt, deren Zustand unter vielen Umständen empfindungserweckend auf den Nerven wirken kann.

B. Besondere Gefühle.

Die Orte der besondern Gefühle empfinden neben dem Schmerz auch noch gelinde mechanische Einwirkungen, als Druck, Zug u. s. w. und die Temperaturschwankungen als Wärme und Kälte; ihre Nerven stehen ausserdem in engerer Beziehung zur Seele, durch die sie vor allen Uebrigen deutliche Vorstellungen der erregten Oertlichkeit erwecken, und endlich verknüpfen sich ihre Erregungen mit Bewegungsvorstellungen zur Erzeugung complizirterer Urtheile.

Zu diesen ausgedehnten Leistungen sind die Nerven befähigt, welche sich in der äussern Haut, der Mundhöhle bis zum vordern Gaumensegel, einschliesslich dieses letztern, der Zunge, dem Eingang der Nasen- und Afteröffnung verbreiten.

1. Eigenthümlichkeiten in der Verbreitung und den Ursprüngen dieser Nerven. Die Flächen, in welchen die erwähnten Nerven ihr peripherisches Ende finden, sind mit Einrichtungen versehen, welche in mehr oder weniger inniger Beziehung zu ihren besondern Gefühlen stehen (E. H. Weber). a) Von der Oberfläche der Cutis und Zunge ragen überall kleine Unebenheiten,

die Papillen, hervor. Diese kleinen verschieden langen Kegel sind zusammengesetzt aus Faserstreifen, welche sehr regelmässig aus der Cutis emporsteigen und jedesmal mit einer kleinen stumpfen, nach aussen gebogenen Hervorraguug auf der Papillenoberfläche enden. Diese bedingen dann, dass der Papillenumfang in regelmässigen und zwar sehr geringen Abständen von kleinen hervorragenden Leisten umzogen wird, weil nämlich jedesmal eine grosse Zahl der aufsteigenden Fasern genau in derselben Höhe stumpf aufhört (Meissner). Im Innern der Papille laufen entweder Blutgefässe oder Nerven, und um ihre Basen schlingen sich die letztern in Netzen umher. Diese gerippten Hervorragungen der Haut begünstigen nicht allein ihre Reibung, sondern was nicht minder wesentlich die mit Flüssigkeit durchtränkten in der unnachgiebigen Epidermis steckenden Kegel müssen, weil sie hervorragen, sehr empfindlich für jede Temperaturveränderung sein, und da sie mit der steigenden wie der sinkenden Wärme zusammenfallen und sich ausdehnen, so wird der dadurch auf das Centrum fallende Druck oder Zug umsomehr den allein nachgiebigen Nerveninhalt treffen, wenn, wie es vorkommt, kein Blutgefässe, sondern nur nervige Massen im Innern der Papille eingeschlossen sind. — b) Die Nervenröhren, welche in die obengenannten Hautstücke eingehen, theilen sich und zwar wie es scheint wiederholt in je 2, 3 und mehr Aeste, deren Durchmesser gleich ist dem des ursprünglichen Rohres. Diese Aeste bilden in der Umgebung der Papillenbasen ein mehr oder weniger dichtes Netz; in weitaus dem grössten Theil der Cutis konnte der Nerv nur bis in dieses verfolgt werden, und nur in den Händen, Füssen, den rothen Lippen und der Zunge spürte ihm die anatomische Beobachtung bis in die Warzen nach. — In den Extremitäten nämlich dringen die Nerven schliesslich in ein eigenes Gebilde, den Tastkörper (Meissner, R. Wagner). Nach Meissner's genauen Untersuchungen sind sie wahrscheinlich anzusehen als Säckchen, die von einer dünnen Haut überzogen sind und deren Inhalt mit einer kugelig geformten Masse gefüllt ist. Die Haut des Säckchens wird von einem oder zwei Nerven durchbrochen, die sich öfter spiralig winden, dann aber theilen und mit ihren Aesten die Wand auskleiden. Diese Körperchen liegen in einer in weitaus den meisten Fällen gefässlosen Papille und zwar so, dass sein oberes Ende das Warzengewebe frei überragt; somit deckt die Epidermis unmittelbar die Spitze des Tastkörpers. — Am zahlreichsten stehen unsere Körper an der Volarseite der

Fingerspitzen, sie nehmen gegen die Handwurzel ab; ähnliches gilt vom Fuss. Nach Zählungen von Meissner enthält eine □ Linie P. Haut an Tastkörperchen in der Vola indicis [phal. III = 108; phal. II = 40; phal. I = 15]; Vola metacarp. digit. minim. = 8; Vola halucis phal. II = 34; Vola metartarsi = 8. Bei Neugebornen sind die Tastkörper noch nicht vorhanden. — An den rothen Lippen gehen aus dem reichen Nervengeflecht am Warzenboden Fäden, die sich bis zu den Papillenspitzen verfolgen lassen; Nerven und Gefässwärzchen sind hier nicht gesondert, indem ein und dieselbe Papille beide Elemente in sich schliesst. Ob alle Papillen Nerven tragen, ist dagegen ungewiss (Meissner). In der Zunge gehen die Nerven nachweisslich in pap. fungiformes über, wo sie sich vielfach theilen und am freien Ende derselben stumpf zugeschnitten abschliessen (Waller). — c) Ueber den grössten Theil der Haut finden sich Haare verbreitet, welche durch ihre innige Anheftung an empfindliche Hautstellen kleine Sonden darstellen, welche in Folge zarten Zugs und Drucks besondere Lagenverschiebungen der Haut erzeugen. — d) Die kleinen, von Kölliker entdeckten Muskeln des Gewebes und vorzugsweise der Drüsen der Haut sind dadurch von Bedeutung, dass sie die Blutmenge sowohl als den Elastizitätscoeffizienten der Haut, mit andern Worten Temperatur und Widerstandsfähigkeit derselben, vorübergehend ändern können. Ihre Bewegungen erzeugen auch geradezu eigenthümliche Temperatur- und Kitzelgefühle, welche unter dem Namen des Ameisenlaufens, des Schauers u. s. w. bekannt sind. — e) Die Flächen mit Sondergefühl sind endlich zum Theil auf sehr bewegliche Gliedmassen gestellt, wodurch die Haut der Hand, des Fusses, der Lippen, der Zunge in mannigfaltige und beliebige Stellungen zu den erregenden Gegenständen gebracht werden kann.

Nicht unwahrscheinlich ist es aber, dass nächst den erwähnten besondern Bedingungen in der Haut, auch eine eigenthümliche in dem Hirn erscheint. E. H. Weber hat auf den Umstand die Aufmerksamkeit gelenkt, dass nach den häufig vorkommenden und zerstörenden Blutergiessungen in die Hirnmasse, welche das Dach des Seitenventrikels darstellt, vorzugsweise nur die Empfindungen und Bewegungen der Arme und Beine, aber nicht die des Rumpfes gelähmt sind. Diese Thatsache zeigt allerdings, dass die Nerven

*) G. Meissner, Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Haut. Leipzig 1853. — Leydig, Lehrbuch der Histologie. Frankfurt 1857. p. 65.

der wesentlichsten Tastorgane im Hirn einen andern Verlauf besitzen, als diejenigen des Rumpfes. Dieser zusammengedrängte Verlauf von Nerven, die ausserhalb des Hirns so weit auseindergezerrt sind, gesondert von andern, welchen sie an der Peripherie so nahe liegen, muss allerdings auffallen. Auf eine besondere Stellung der Empfindungsnerven in den Extremitäten deutet auch das von Peyer zuerst bemerkte und von Türk auf das genaueste verfolgte Verhalten der Hand und Fussnerven, wonach dieselbe Hautstelle von Röhren, die durch verschiedene Wurzeln aus dem Rückenmark getreten sind, versorgt wird.

Obwohl es noch durchaus nicht gelingt anzugeben, wie im einzelnen die erwähnten Eigenthümlichkeiten die Besonderheit der Empfindung bedingen, so lässt sich doch mit Schärfe ihr im Allgemeinen bestimmender Einfluss durch Versuche zeigen. Denn a) dieselben Nervenröhren geben, je nachdem sie an ihrer Hautausbreitung oder in ihrem Verlauf durch den Stamm erregt werden, entweder das besondere oder nur das Schmerzgefühl (E. H. Weber). Taucht man z. B. den Ellenbogen in eine Mischung von Eis und Wasser, bis dass die Abkühlung allmälig durch die Haut zu dem n. ulnaris dringt, so entsteht in diesem niemals das Gefühl der Kälte, sondern nur des Schmerzes, welches sich aus bekannten Gründen gegen den Ulnarrand der Hand erstreckt. Ebenso sind grosse Hautnarben, in denen die Cutis vollkommen zerstört ist, nicht mehr geeignet Kälte- und Wärmeempfindung zu erzeugen. Endlich entbehren auch die Hautflächen, welchen die beschriebenen Organe fehlen, der ebengenannten Empfindungen, so erzeugt z. B. Eiswasser, in den Magen oder Dickdarm eingebracht, keine Kälteempfindung (E. H. Weber *)). — b) Nach Einathmung von Aether tritt bekanntlich ein eigenthümlicher Zustand unseres Hirns ein, in diesem empfinden wir höchst auffallender Weise sehr intensive Verletzungen nicht mehr als Schmerzen, dagegen geben schwache Angriffe auf die Haut Tastempfindungen; dieses Auslöschen der Schmerzfähigkeit neben dem Bestehen der Tastempfindlichkeit scheint allerdings darauf hinzudeuten, dass diesen beiden spezifisch verschiedene Prozesse des Hirns zu Grunde liegen (Gerdy, Pirogoff**)).

*) E. H. Weber, Artikel Tastsinn im Wörterbuch der Physiologie. — Th. Weber, Archiv für physiol. Heilkunde. 1855. p. 341.

**) E. H. Weber l. c. p. 563.

2. Erreger der besondern Gefühle. — Die benannten Flächen scheinen aber nur dann die besondern Empfindungen erzeugen zu können, wenn die Erregung der Nerven einen gewissen Grad der Intensität nicht überschreitet; jede heftige Veränderung der Nerven wird nämlich augenblicklich schmerzhaft, und damit verlieren wir die Befähigung zur Auffassung einiger Besonderheiten der Erregung, gleichsam als ob die Vorstellung von der Empfindung übertäubt würde.

Wenn es nun zur Bildung der besondern Gefühle kommt, verknüpft sich sogleich die Empfindung und die Vorstellung auf das innigste. Darum scheint es E. H. Weber in der meisterhaften Darstellung seiner fundamentalen Entdeckungen vorgezogen zu haben, die nächsten und entfernteren Wirkungen der Erreger zugleich abzuhandeln, indem er die Gesammtheit der durch Druck, Zug und Temperaturschwankung in der Empfindung und Vorstellung hervorgerufenen Erscheinungen beschreibt als Ort-, Druck- und Temperatursinn. Wir werden diese Reihenfolge, abweichend von der bisher bei den Sinnen eingeschlagenen, ebenfalls zu Grunde legen.

3. Ortsinn*) (Tastsinn im engern Begriff). Dieser Name bezeichnet die Fähigkeit, unmittelbar den Ort und die Gestalt der erregten sensiblen Flächen oder dazu auch die Lage des Erregers im Raume zu empfinden. — Für Unterscheidung des Ortes und der Gestalt der Hautreize, bedienen wir uns der bewegten und der ruhenden Haut.

a) Ortsinn der ruhenden Haut. — Seine Feinheit prüft man nach E. H. Weber und Czermak auf verschiedene Weise.

1. Ein stumpfes polirtes Stäbchen (z. B. eine Stricknadel) setzt ein Beobachter auf die Haut eines zu beobachtenden Menschen, dessen Augen geschlossen sind, nur muss das Aufsetzen so sanft geschehen, dass es keine Schmerzempfindung erweckt; der Berührte wird dann angewiesen, unmittelbar nachdem das Stäbchen entfernt wurde oder während es noch aufgesetzt ist, den getroffenen Ort mit dem Finger oder einen in der Hand gehaltenen Stab anzugeben. Bei dieser Beobachtungsweise sowohl wie bei allen folgenden ist zu berücksichtigen, dass, vermöge des dichten Nervenüberzugs, den die Haut erhält, ein solcher Druck niemals nur eine Primitivfaser resp. nur ein Ende einer solchen treffen würde, selbst wenn, was bekanntlich nicht geschieht, der Druck des Stabes nur auf die Berührungsstelle desselben beschränkt bliebe; in der That wird die Haut, ausser an der berührten Stelle, auch noch an andern gezerrt;

*) E. H. Weber, Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise etc. Leipziger Berichte 1852. p. 85. — Lotze, med. Psychologie. Leipzig 1852. p. 395. — Lichtenfels, Wiener Sitzungsberichte VI. 338. — Czermak, ibid. XV. 425 und XVII. 580. — Derselbe, Zeitschrift von Moleschott I. Bd. 183. — Meissner l. c. u. Henle's u. Pfeufer's Zeitschrift N. F. IV. Bd. 360.

indem der drückende Stab jedesmal einen Trichter erzeugt, dessen Tiefe bei gleichem Drucke von der Nachgiebigkeit der getroffenen Haut und der Unterlage abhängig ist. Die Gestalt der gedrückten Fläche lässt also erwarten, dass der tiefste Punkt des Trichters am intensivsten gezerrt werde, und dass von da ab nach der Peripherie desselben die Stärke der Erregung allmälig abnehme. Die gesammte Wirkung, welche ein drückendes Stäbchen ausübt, wäre also zu vergleichen derjenigen eines auf der Retina nicht zu einem Punkt vereinigten Lichtkegels, und darum erklärt man auch geradezu der Druck des Stäbchens erzeuge einen Zerstreuungskreis. Physiologisch ausgedrückt bedeutet dieses, im Maximum der Erregung befänden sich einige wenige Nervenfäden, und in allen möglichen Zwischenstufen zwischen dieser letztern und einer vollkommnen Nervenruhe finden sich sehr zahlreiche andere; die letzteren sind im günstigen Fall so um den höchst erregten Ort gelegen, dass die gleich stark erregten Fäden symmetrisch zum Mittelpunkt des Trichters gestellt sind (E. H. Weber). — 2. Zwei abgestumpfte Zirkelspitzen werden auf die Haut des Beobachteten aufgesetzt und so lange einander genähert oder von einander entfernt, bis die von ihnen erzeugten Zerstreuungskreise noch als gesonderte empfunden werden (E. H. Weber). An diese Verfahren hat Czermak die Modifikation angebracht, beide Spitzen ungleich zu erwärmen. Durch diese Versuchsweise soll also die Fähigkeit geprüft werden, zwei räumlich getrennte Hautpunkte auch als räumlich verschiedene zu empfinden. — 3. Zwei Zirkelspitzen, welche auf einer bestimmten Hautstelle als gesonderte empfunden werden, bewegt man in immer gleicher Entfernung von den zuerst getroffenen Punkten nach andern continuirlich fort und lässt den berührten Menschen bestimmen, ob die Abstände der Zirkelspitzen sich während der Bewegung zu nähern oder zu entfernen scheinen (E. H. Weber). — 4. Czermak führt den unter 2. beschriebenen Versuch in der Weise aus, dass er die beiden Zirkelspitzen nicht gleichzeitig, sondern ungleichzeitig aufsetzt, also die zuerst aufgesetzte entfernt, während er die zweite niederdrückt. Dieses Verfahren gewährt einen Vorzug, weil dabei jedesmal nur ein Zersreuungskreis in Betracht kommt. — 5. Die Haut wird berührt von einer bestimmt geformten Kante oder Fläche; das berührte Individium muss angeben, wie die Gestalt des berührenden Körpers beschaffen sei. In diesem Fall muss also nicht allein der Ort, sondern auch die Lage der getroffenen Punkte zu einander unterschieden werden (E. H. Weber). — 6. Das letztre Verfahren hat sein Urheber noch dahin abgeändert, dass er mit dem Stab bestimmte Figuren auf der Haut zieht, und die Gestalt, die dadurch dem Berührten zum Bewusstsein kommt, vergleichen lässt mit einem entsprechenden Gesichtseindruck. In dieser Versuchsweise ist zu berücksichtigen die Geschwindigkeit, mit der der Zug ausgeführt wird, und die Lage der Hautstelle zur Gesichtsfläche. Da der Zug nur dann zu klaren Vorstellungen führt, wenn er langsam ausgeführt wird, so scheint das psychische Resultat weniger die Folge unmittelbarer Empfindung, als vielmehr der denkenden durch das Gedächtniss unterstützten Vergleichung zu sein. —

Die Feinheit der Ortsunterscheidung ist abhängig

α) von der Hautstelle. Die nachfolgende von E. H. Weber entworfene Zusammenstellung verzeichnet, in M.M. ausgedrückt, den geringsten Abstand, den zwei gleichzeitig aufgesetzte Zirkelspitzen haben müssen, wenn sie noch als getrennt empfunden werden sollen.

Zungenspitze	1,1	M.M.
Volarseite des dritten Fingergliedes . .	2,2	„

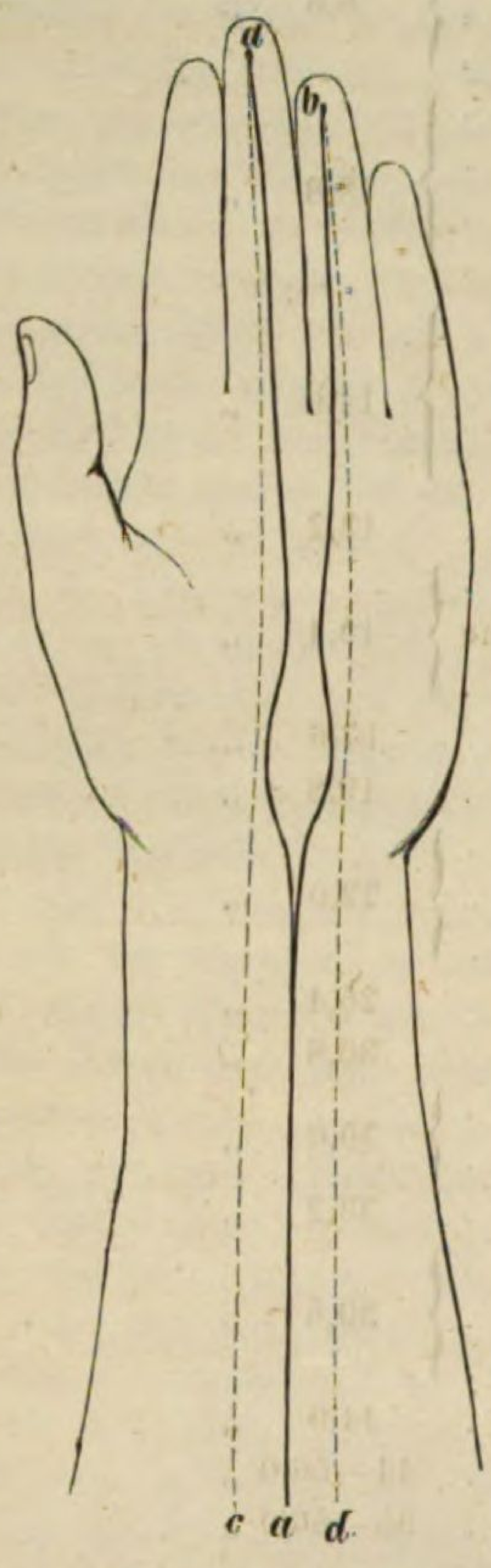
Rothe Lippen	4,4 M.M.
Volarseite des zweiten Fingergliedes . .	
Dorsalseite des letzten Fingergliedes . .	6,6 „
Nasenspitze	
Volarseite der capitula ossium metacarpi . .	
Rücken der Zunge 25 M.M. von der Spitze .	8,8 „
Daselbst am Rande	
An den nicht rothen Lippen	
Metacarpus des Daumens	
Plantarseite des letzten Grosszehengliedes .	11,0 „
Rückenseite des zweiten Fingergliedes . .	
Backen	
Aeussere Fläche des Augenlides . . .	
Mitte des harten Gaumens	13,2 „
Haut auf dem vordern Theil des Jochbeins .	15,4 „
Plantarseite am Mittelfuss durch die Grosszehe	
Rückenseite des ersten Fingergliedes . .	
Rückenseite der capitula oss. metacarpi . .	17,6 „
Innere Lippenfläche nahe am Zahnfleisch . .	19,8 „
Am hintern Theil des Jochbeins . . .	22,0 „
Am untern Theil der Stirn	
Am hintern Theil der Ferse	
Behaarter unterer Theil des Hinterhauptes .	26,4 „
Handrücken	30,8 „
Hals unter der Kinnlade	30,0 „
Scheitel	
Kniescheibe und Umgegend	33,2 „
Kreutz und über dem Glutaeus	39,6 „
Unterarm und Unterschenkel	
Fussrücken in der Nähe der Zehen . . .	
Brustbein	44,0 „
Rückgrath, Hals, Brust, Lende	44—66,0 „
Am Oberarm und Unterschenkel . . .	35—66,0 „

β) An vielen Orten ist es nicht gleichgiltig, ob die Oeffnung der Zirkelspitzen in der Längen-, oder ob sie in der Querachse eines Körpertheils aufgesetzt wurden. So war, um die Spitzen getrennt zu empfinden, eine Zirkelöffnung nöthig: am Oberarm der Quere nach 35 M.M., der Länge nach 66 M.M., und mehr; ähnliches ergab sich am Unterarm (E. H. Weber).

Eine Folgerung aus den vorgetragen Sätzen ist: Zieht man an der vordern Extremität mit den Zirkelspitzen zwei parallele Linien *a c* und *b d*, in der Fig. 98 durch die Tüpfeln ausgedrückt, so kommt in der Empfindung die Linie *a b e* zum Vorschein, d. h. es scheinen sich die Spitzen zu nähern, wenn sie aus den Gegenden feiner in die stumpfer Raumunterscheidung

geführt werden (E. H. Weber). — Eine andere Folgerung ist die, dass, wenn man die Basen von Hohlcylindern u. dgl. auf die Haut setzt, diese, je nachdem sie einen Ort feiner oder stumpfer Raumempfindung treffen, in ihrer wahren Form erkannt werden oder durchweg erfüllt erscheinen, sodass der kreisförmige Rand als kreisförmige Platte gefühlt wird.

Fig. 98.



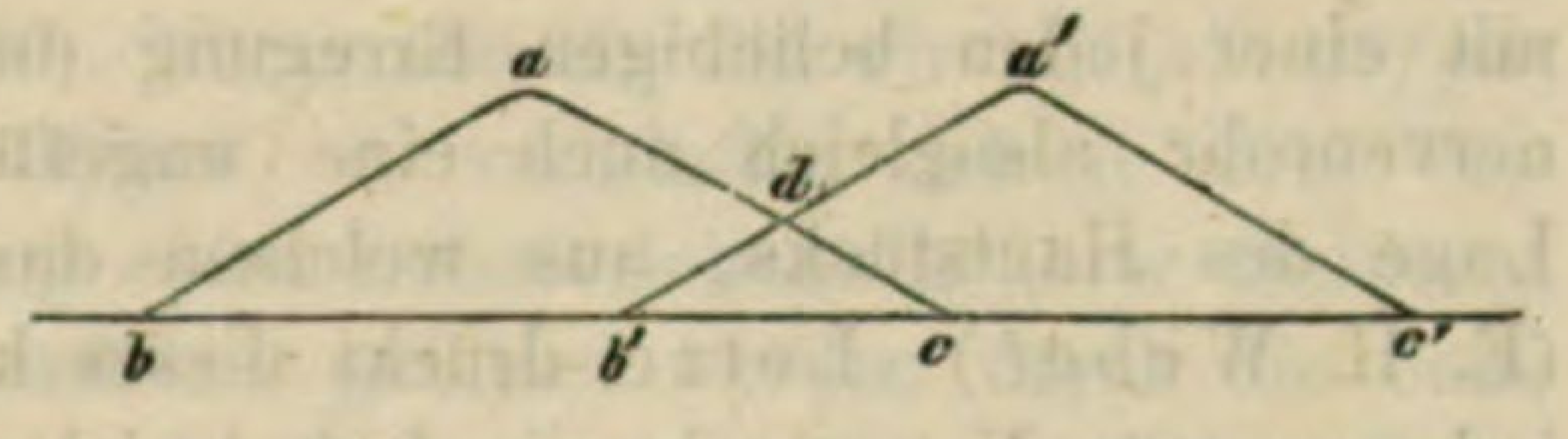
γ) Die Raumunterscheidung stellt sich nach Czermak an derselben Hautstelle desselben Menschen verschieden heraus, je nach der Art die Zirkelspitzen aufzusetzen. Vergrössert man nämlich zuerst den Abstand der beiden Spitzen so lange, bis eine deutliche Doppelempfindung einzutreten beginnt, so erhält man einen grössern Werth, als wenn man von da ab den Abstand wieder so lange verkleinert, bis eine einfache Wahrnehmung entsteht. Daraus folgt, dass zwischen den Entfernungen, die einer deutlichen, einfachen und einer eben solchen doppelten Empfindung entsprechen, ein Mittelraum besteht, in welchem die Empfindung weder doppelt noch einfach ist, was schon Lichtenfels hervorgehoben hat, indem er angiebt, es bestehe ein Raum, in welchem die Hautfläche eine Empfindung auslöst, als ob einer der beiden gleichstarken Eindrücke von geringerer Stärke gewesen sei, als der andere. Czermak suchte für diesen Fall das Unterscheidungsvermögen dadurch zu unterstützen, dass er die eine der Spitzen abkühlte und die andre erwärmte. Hierdurch wurde freilich nicht der gewünschte Erfolg erzielt, aber es kam die merkwürdige Thatsache zum Vorschein, dass die beiden Spitzen bei einem einfach gefühlten Abstand zugleich die Empfindung des Warmen und Kalten geben, mit andern Worten, ein und dieselbe Fläche erscheint warm und kalt zugleich. —

δ) In einem hohen Grade wächst das Unterscheidungsvermögen, wenn die Spitzen nicht gleichzeitig aufgesetzt werden, so dass also die Lage des durch die zweite getroffenen Ortes verglichen wird mit der Erinnerung des zuerst berührten (Czermak). Der Grund

hierfür kann nur darin gesucht werden, dass in diesem Fall nicht zwei, sondern nur ein Zerstreuungskreis des Druckes von der Empfindung in Betracht gezogen wird.

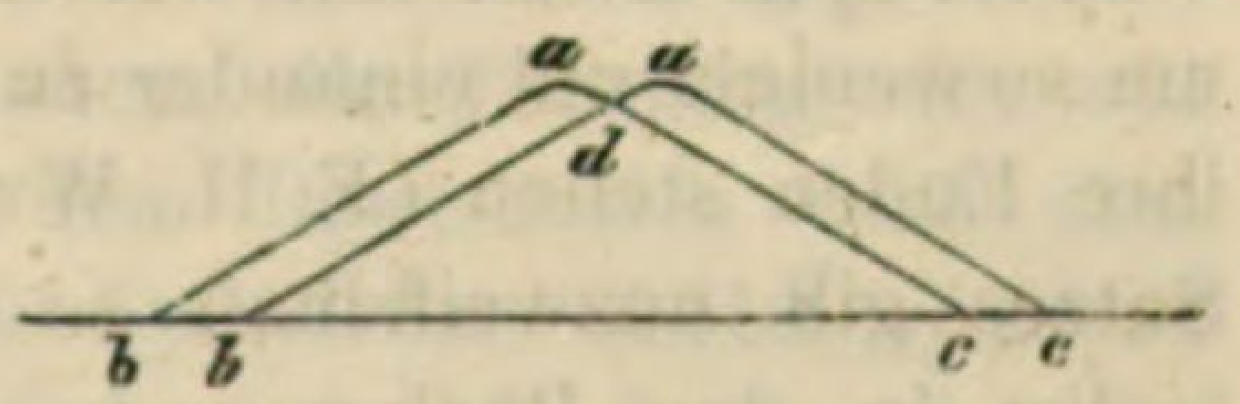
Um dieses deutlich zu machen, denken wir uns auf die Abszisse x aufgetragen als Ordinaten die Drücke, welche der Haut eingepflanzt werden. Gesetzt nun, es seien (Fig. 99) bei a und a' die Zirkelspitzen eingestellt und es fielen im Zerstreuungskreis des Druckes von dem Centrum gegen den Umfang die Empfindungswerthe nach der Curve abc und $a'b'c'$ ab, so dass die Curven sich in d mit dem aufgetragenen Ordinatenwerthe schnitten, so würde möglicher Weise der dort vorhandene Druck gross genug sein, um die Empfindung zwischen a und a' continuirlich erscheinen zu lassen, d. h. a und a' werden sich vermischen. —

Fig. 99.



Setzt man dagegen die Zirkelspitzen in zeitlicher Folge, Fig. 100 a und a', so nahe, dass der Schnittpunkt der Zerstreuungskreise einen sehr viel grösseren Druck als vorher zu ertragen hätte, so würde im Sinn der obigen Hypothese der Punkt a von a' noch zu unterscheiden sein, weil das Stück db des ersten Berührungskreises wegen seines geringeren Empfindungswerthes rascher in der Erinnrung ausgelöscht wird, als a' *). Die Unterschiede der Spitzenentfernung, welche je nach den verschiedenen Methoden nöthig sind, versinnlicht die folgende Tafel. — Unter I. steht in M. M. die Entfernung der Spitzen, die nothwendig ist, um eine deutliche Doppelempfindung zu erwirken; unter II. findet sich die Entfernung, bei welcher die nach Ausführung des vorigen Versuchs allmälig wieder genäherten Spitzen die einfache Empfindung geben; III. giebt die Entfernung an, in welcher die abwechselnd aufgesetzten Spitzen noch als räumlich getrennte empfunden werden.

Fig. 100.



	I.	II.	III.
Mitte des Handrückens in der Längsrichtung	6,5	4,4	1,0
Mitte des Vorderarms „ „ „	10,5	6,6	2,6.

ε) Das Unterscheidungsvermögen ändert sich mit dem Zustand der Haut, insbesondere wird es geringer, wenn dieselbe gedehnt wird, indem an derselben Stelle die Spitzen um so weiter auseinandergesetzt werden müssen, je weiter die Haut ausgedehnt ist. Als eine Folgerung dieses Satzes konnte man die Erfahrung ansehen, dass bei Kindern, welche auf verschiedenen Hautstellen ganz ähnliche Feinheitsunterschiede des Ortsinns darbieten, als Erwachsene, die Abstände der Zirkelspitzen, welche zur Erzeugung der Doppelempfindung nothwendig sind, durchaus geringer ausfallen, als bei Erwachsen. (Czermak.)

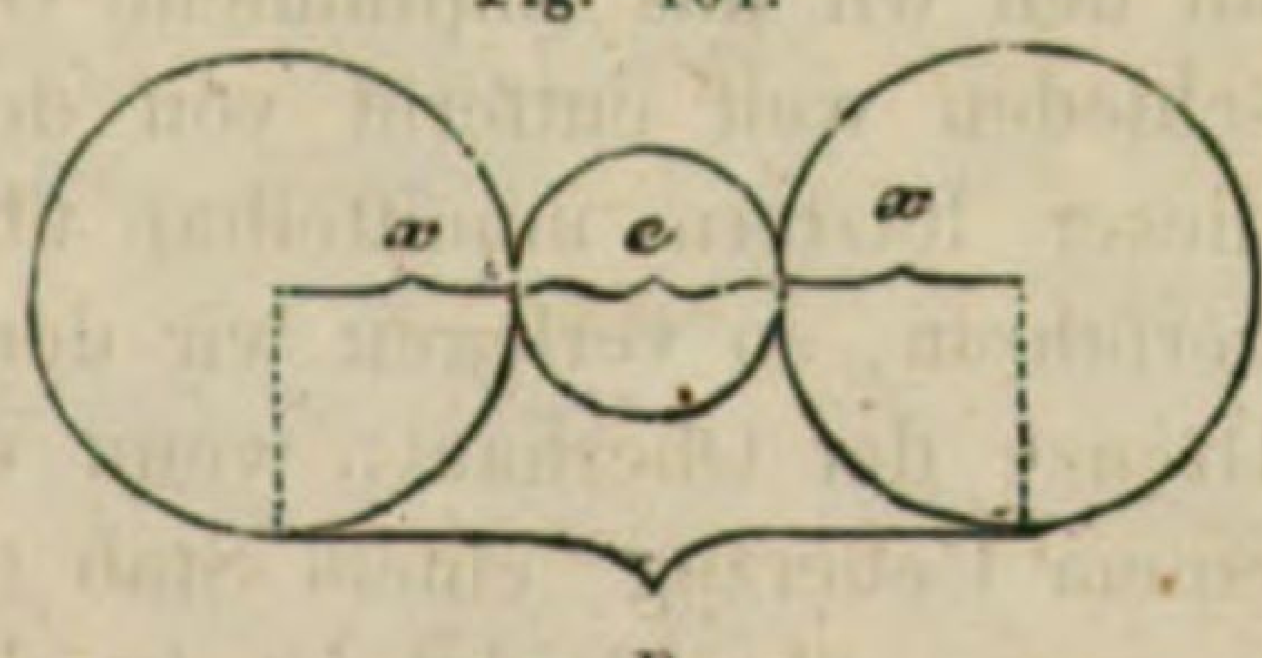
*) oder auch, weil der erste Empfindungskreis, der blos in der Erinnerung vorhanden ist, mit dem zweiten, der als Empfindung in Betracht kommt, nicht in eine continuirliche Empfindung zusammenfliessen kann (Czermak).

η) Die Seelenstimmung, Aufmerksamkeit und Uebung verändern die Feinheit der Raumunterscheidung. Hierauf beruht es, dass ein und derselbe Mensch zu verschiedenen Zeiten verschiedene Entfernungen zur Doppelempfindung nöthig hat (E. H. Weber); dass nach Genuss von Opium, Atropin etc. der genannte Abstand zunimmt (Lichtenfels), dass er bei Blinden im Allgemeinen geringer ist (Czermak).

Aus diesen Thatsachen leitet sich ab: die Seele gewinnt mit einer jeden beliebigen Erregung durch jedes beliebige Tastnervenrohr alsogleich auch eine ungefähre Bestimmung von der Lage des Hautstücks, aus welchem das Nervenrohr hervorgeht. (E. H. Weber.) Lotze drückt dieses kurz dahin aus, es bringe jedes erregte Nervenrohr ein Lokalzeichen mit. Die Lokalzeichen zweier oder mehrerer Nerven sind, sagen die Thatsachen weiter aus, um so weniger von einander geschieden, je benachbarter ihre Verbreitungsbezirke in der Haut liegen, und umgekehrt, sie sind um so weniger mit einander zu verwechseln, je entfernter von einander ihre Enden stehen (E. H. Weber). Der erstere Theil des letztern Satzes gilt unzweifelhaft so weit, dass sogar zwei oder mehrere isolirt in das Rückenmark oder Hirn eintretende Nervenröhren, welche in der Haut unmittelbar aneinander grenzen, ihre Lokalzeichen in der Empfindung verschmelzen lassen, oder, wie sich Czermak ausdrückt, mehrere einfache Lokalzeichen treten zu einem solchen von höherer Ordnung zusammen. Ein solches Zeichen h. O. nennt man nun auch mit Rücksicht auf die Haut einen Empfindungskreis. Misst man den Durchmesser eines solchen Empfindungskreises durch den grösten Abstand, welchen die beiden Zirkelspitzen haben müssen, wenn sie zu einer Ortsempfindung zusammenfallen sollen, so ist natürlich der Durchmesser bestimmt durch jene Abstände bei kurz hintereinander aufgesetzten Zirkelspitzen, d. h. der Durchmesser des Empfindungskreises ist gegeben durch die Zahlen, welche unter der Columme III. in der letzten nach Czermak gegebenen Tabelle stehen. Nach den vorliegenden Thatsachen bedarf es übrigens kaum der besondern Bemerkung, dass das Wort Kreis nicht im geometrischen Sinn genommen werden darf, indem z. B. am Arm zwei aufeinander senkrechte Durchmesser eines solchen Kreises ungleich gross sind; der Empfindungskreis könnte also hier die Form einer Ellipse u. s. w. haben. — Da nun die Spitzenabstände des Zirkels an jeder Hautstelle ganz bestimmt sind und da sie ferner auf der gedehnten Hautstelle in dem Maase, wie die Dehnung zunimmt, wachsen, so sind die Empfindungskreise

ganz bestimmte Wesen, deren Bestehen von dem Lagenunterschiede und nicht etwa von der Zahl der gleichzeitig berührten Nerven abhängt (Czermak). Diese letztere von E. H. Weber und Czermak vertretene Anschauung führt noch zu der nachstehenden Folgerung, welche Lotze, wie es scheint, dadurch ausdrückt, dass er sagt, es treten die Nerven zur Bildung eines Systems bestimmt abgestufter Lokalzeichen zusammen. Gesetzt nämlich, es begäben sich in ein Hautstück 9 isolirte Nervenröhren, die wir mit *abcdefghi* bezeichnen wollen, und ferner, es verbänden sich je drei Verästelungsgebiete zur Bildung eines Lokalzeichens höherer Ordnung, so würde ebensowohl ein solches gebildet werden durch die Combination von *abc*, als von *bcd*, als von *cde* u. s. w. Jedes dieser Gebiete wird aber, mit dem Zutritt eines neuen Buchstabens und dem entsprechenden Ausfall eines alten, ein neues, vom vorhergehenden um ein weniges verschiedenes Lokalzeichen abgeben. — Die Empfindung eines Raumunterschiedes, die Trennung des von beiden Spitzen berührten Raumes in dem Bewusstsein wird aber erst dann eintreten können, wenn eine Spitze das Gebiet *abc* und die andere das von *ghe* berührt, so dass zwischen beiden berührten Empfindungskreisen ein unberührter in der Mitte liegt. Demnach muss man mit Czermak annehmen, dass (Fig. 101) der geringste Abstand beider Zirkelspitzen (D), welche bei gleichzeitiger Aufsetzung derselben die Empfindung zweier getrennter Punkte giebt, zwei Zerstreungskeise von dem Halbmesser x um einen sie trennenden unberührten Empfindungskreis vom Durchmesser e einschliesst. Indem also $D = 2x + e$ wäre, würde $x = \frac{D - e}{2}$ sein, und e wäre der grösste Abstand der beiden ungleichzeitig aufgesetzten, zu einem räumlichen Eindruck verschmolzenen Zirkelspitzen.

Fig. 101.



Soweit reichen, wie es scheint, die Thatsachen; hypothetisch bleibt dagegen die Darstellung des Mechanismus dieser so merkwürdigen Erscheinungen. Offenbar können nämlich die Lokalzeichen von zwei verschiedenen Einrichtungen abhängig gedacht werden. Sie können bedingt sein 1. durch eine besondere Aufreihung der centralen Nervenenden im Hirn, von der die Seele irgendwelche ursprüngliche oder erworbene Vorstellung besitzt, sodass sie darum zugleich mit der Anregung, die sie von einem Nervenende empfängt, aufgeklärt ist über den Ort, von dem sie den Stoss empfing. Hierfür spricht die ganze räumliche Gliederung der Nerven in der Haut, und ihr isolirter Verlauf bis in das Rückenmark oder Hirn. Dagegen spricht aber die Ver-

bindung, die die Nervenröhren durch die Ganglienkugeln in der grauen Substanz untereinander eingehen und noch mehr würde dagegen sprechen die (S. 164) erwähnte Beobachtung von Türk, wonach nach zweimal halbseitiger Zerstörung des Rückenmarks, also einmaliger totaler Unterbrechung aller Nervenröhren, die im Rückenmark emporsteigen, doch noch das Ortsgefühl erhalten war. Ein solches Verhalten innerhalb der nervösen Centralorgane würde das ausserhalb derselben vorkommende aufheben. — Die zweite Erklärung des Ortsinns wäre aber dadurch möglich, dass man jedem Nerven einen von jedem andern qualitativ verschiedenen und dazu einen innerhalb desselben Nerven bei allen beliebigen Erregungen constanten Eindruck auf die Seele zuschreibe, diese letztre Vorstellung empfiehlt sich durch ihre ungemeine Biegsamkeit und ihren umfassenden Charakter. Siehe hierüber die Controverse zwischen E. H. Weber, Meissner, Lotze und die vermittelnde resp. ablehnende Erörterung Czermak's.

b) Ortsinn der bewegten Haut. Die Gefühle der tastempfindlichen Flächen nehmen einen besondern Charakter an, wenn die Muskeln der Gliedmassen, auf welchen sie angebracht sind, willkürliche Bewegungen ausführen. Die neuen Eigenschaften, welche zum Vorschein kommen, sind: *α*) Wir empfinden mit der bewegten Hautfläche scheinbar den Erreger und nicht das erregte, d. h. wir setzen die Empfindung nicht in die Haut, wo sie doch geschieht, sondern ausserhalb derselben. Der Unterschied der Empfindung bei bewegter und unbewegter Haut wird besonders deutlich, wenn man zwei empfindliche Flächen des eigenen Körpers gegen einander führt und zwar so, dass eine derselben ruht, während die andere bewegt wird. In diesem Fall fühlen wir jedesmal mit den bewegten Theilen (Finger, Zunge, Zähne u. s. w.) die ruhenden. Der Ort, an den wir das empfundene Objekt in den Raum setzen, liegt verschieden weit entfernt von der tastenden Fläche; wenn wir mit dieser letztern unmittelbar über den widerstehenden Gegenstand herfahren, so verlegen wir den Ort des letztern unmittelbar an die Grenze der Oberhaut; wenn dagegen die empfindliche Fläche mit einem Ueberzug, einem Stab (Zahn, Haar, Nagel, Stock, Stiefel u. s. w.) überkleidet ist in der Art, dass während des Tastens sich dieser Ueberzug nicht an der empfindlichen Fläche, wohl aber am betasteten Gegenstand verschiebt, dann setzen wir den Ort des letztern an die Grenze des die Haut bekleidenden Objekts. Ausserdem empfinden wir in allen Fällen mit der bewegten Haut auch die Richtung, in welcher der Widerstand auf dieselbe wirkt.

Bei der Schwierigkeit der Beobachtung mit schon längst geübten Sinnen kann es allerdings zweifelhaft scheinen, ob wir nicht auch die Tastempfindungen der ruhenden Haut ausserhalb derselben fühlen; jedenfalls steht es aber sicher, dass die bewegte Haut jene Empfindung weitaus am lebhaftesten hat.

E. H. Weber macht darauf aufmerksam, dass wir durch ein lose in der Hand gehaltenes Stäbchen, das wir auf den Tisch stellen, zwei Empfindungen

erhalten, eine an der Grenze zwischen Stab und Hand und die andere zwischen Stab und Tisch.

β) Wenn eine beschränkte und zugleich sehr nervenreiche Fläche über einen Gegenstand hinbewegt wird, so erhalten wir mit der Tastempfindung zugleich eine Vorstellung von der Form des umzogenen Objekts. Diese Erfahrung scheint zu bedeuten, dass wir mit Hilfe unserer Muskeln eine Vorstellung besitzen von der relativen Lage unserer Hautflächen im Raum. Diese Annahme wird unterstützt durch das Verkehrtfühlen, womit man die Erscheinung bezeichnet, dass zwei Hautflächen, welche normal einander gegenüberstehen (Lippenränder und zugewendete Fingerseiten) ein und demselben beide Flächen berührenden Körper eine andere Gestalt beilegen, je nachdem sie in der normalen oder in einer ohne Zuthun unserer Muskeln verzerrten Stellung von dem Objekt getroffen werden. — Weitere Bemerkungen sind unter dem Abschnitt Muskelsinn in der besondern Muskellehre zu finden.

Hierher gehört die bekannte Erscheinung, dass wir die einander zugewendeten Flächen eines Kügelchens als einander abgewendete auffassen, wenn wir die Finger so übereinander schlagen, dass das Kügelchen vom Ulnarand des zweiten (Mittel-) und dem Radialrand des ersten (Zeige-) Fingers getroffen wird, statt dass es normal mit dem Radialrand des zweiten und dem Ulnarrand des ersten berührt würde. — Eine geradaufsteigende Kante eines Lineals erscheint uns schief von den Lippen aufzusteigen, wenn wir den obern oder untern Lippenrand mit den Fingern aus seiner natürlichen Lage herausziehen.

Da nun die besonders nervenreichen, kleine Empfindungskreise tragenden Theile auch die beweglichsten sind, welche nach verschiedenen Richtungen über ein Objekt herfahren oder sich ihm mannigfaltig anschmiegen können, so werden sie (Lippen, Zunge, Finger- und Zehenspitzen) auch vorzugsweise zum Tasten benutzt.

4. Drucksinn bezeichnet die Leistung unserer Tastorgane, unmittelbar aus der Empfindung eine Vorstellung über den Grad der Zusammenpressung oder Ausdehnung, den unsere Haut durch ein mechanisch wirkendes Mittel erfährt, zu erzeugen. Dieses Vermögen äussert sich an verschiedenen Partien der Haut nicht so wechselvoll wie der Ortsinn. Die empfindlichsten Hautstellen, wie die Fingerspitzen, unterscheiden noch einen Druckunterschied eines Gewichtes von 20:19,2 Unzen, während der Vorderarm einen solchen von 20:18,7 empfindet.

Weber prüfte die Feinheit des Drucksinnes dadurch, dass er auf die Haut eines Körpertheiles, der sehr gut unterstützt wurde, Gewichte von gleicher Grundfläche, z. B. Geldstücke, auflegte, diese entfernte und rasch durch neue ersetzte. Wenn die Zeit, welche zwischen dem Auflegen von einem Gewichte verstrich, hinreichend gering

ist, so gelingt es auf diese Weise viel unbedeutendere Gewichtsunterschiede zu empfinden, als dadurch, dass man auf verschiedenen Hautstellen gleichzeitig oder nacheinander Gewichte auflegt. — Das Vermögen, auf derselben Hautstelle die Stärke eines nicht mehr vorhandenen mit der eines noch bestehenden Erregungsmittels zu vergleichen, nimmt für kleine Gewichtsdifferenzen mit der Zeit rascher ab, als für grössere. So nahm Weber den Gewichtsunterschied von 14 (oder 14,5) zu 15 Unzen nur dann wahr, wenn zwischen dem Aufliegen beider kein grösserer Zeitraum als der von 30 Sekunden verstrichen war. Verhielten sich die Gewichte wie 4:5, so konnte aber noch nach 90 Sekunden der Unterschied bestimmt werden. Ein Zug an den Haaren wird bekanntlich ebenfalls mit grosser Genauigkeit auf seinen Werth bestimmt.

Die Thatsache, dass an nervenreichen Theilen das Unterscheidungsvermögen für Drücke nicht oder nur weniges schärfer ist, als an nervenarmen, steht in noch ungelösstem Widerspruch mit der Beobachtung, dass auf nervenreichen Theilen schmerzerregende Mittel von gleicher Ausdehnung und Stärke viel intensiver wirken, als auf nervenarmen.

Eine zweite Art, den Druck und vornehmlich den Zug seiner Grösse nach zu schätzen, werden wir bei dem Muskelsinn kennen lernen. —

Ueber die Dauer der Nachwirkung in Folge von Drücken, Nachgefühl, und der daraus hervorgehenden Verschmelzung von Eindrücken, hat Valentin *) Versuche angestellt; er legte nämlich den Finger gegen ein Zahnrad, das sich mit verschiedenen, aber messbaren Geschwindigkeiten drehte; je nach dieser Umdrehungsgeschwindigkeit konnten die einzelnen Zähne noch als gesonderte unterschieden werden, oder es entstand durch Verschmelzung einzelner Eindrücke die Empfindung des Glatten, indem, bevor der erste Eindruck verschwand, der folgende schon eingetreten war. — Bei dieser Beobachtungsmethode wird unter allen Umständen die Haut zusammengedrückt, welche als ein elastischer Körper eine endliche Zeit zu ihrer Wiederausdehnung braucht; daraus ist ersichtlich, dass von dem Zahn zugleich ein Rücklass in dem Nerven und in der Haut bleibt. Da Valentin hierauf keine Rücksicht genommen, so lässt sich nicht angeben, wie die einzelnen von ihm beobachteten Erscheinungen zu deuten sind. Er gibt nur an, dass 640 Eindrücke in der Sekunde noch als stark gesonderte gefühlt werden. Die Sonderung der Eindrücke soll begünstigt werden durch eine dünne Oberhaut; durch Excoriationen; durch Baden in Blausäure, im wässerigen Opiumextract, in Kali, in Wasser von 40⁰ bis 45⁰ C., Ueberzüge über die Finger von feinem Leder, von Oelpapier, von Wasser, durch starken Druck von Seiten der Finger und spitzige Form der Zähne. — Die Verschmelzung der Eindrücke soll aber begünstigt sein durch anhaltende Wasserbäder mittlerer Temperatur, durch Bäder in verdünntem Weingeist, in Kältemischung und Wasser von + 54⁰ C.; durch Hemmung des Blutlaufs, durch Aetherbetäubung.

5. Wärmesinn. Temperaturempfindungen empfangen wir nur, wenn sich in den Grenzen von + 10⁰ oder 11⁰ C. bis + 46⁰ oder 47⁰ C. die Wärme unserer Haut ändert. Dieser Satz schliesst also die Forderung ein, dass nur während der steigenden

*) Archiv für physiolog. Heilkunde. XI. Bd. 3. u. 4. Heft.

oder sinkenden Hautwärme jene eigenthümliche Empfindung zu Stande kommt, welche wir Wärme und Kälte zu nennen pflegen. Ein Körper, der unserer Haut Wärme weder gibt, noch entzieht, ist kein Gegenstand der Temperaturempfindung. — Unserem obersten Satz gemäss erzeugt ein Körper aber auch unter gar keinen Umständen mehr Temperaturempfindung, wenn er über oder unter die bezeichneten Grenzen erwärmt ist; denn dann erweckt er Schmerz. — Die Nervenerregung, welche das Sinken der Hauttemperatur begleitet, empfinden wir kalt, die umgekehrte warm.

Wie wenig eine constante Temperatur Empfindungen veranlasst, beweist die Thatsache, dass wir eine verschiedene Temperatur unserer Hautflächen, z. B. der Stirn, und Finger, erst gewahren, wenn wir sie in gegenseitige Berührung bringen, d. h. wenn wir das eine Glied auf Kosten des andern abkühlen.

Das Vermögen, Temperaturunterschiede wahrzunehmen, scheint innerhalb der angegebenen Grenzen unabhängig von dem absoluten Stand des Thermometers; indem wir nach Weber + 14°,0 von + 14,4° R. eben so gut unterscheiden können, als + 30°,0 von + 30,4° R. Abhängig ist es dagegen: a) von der Geschwindigkeit, mit welcher der Temperaturwechsel erfolgt; b) von der Temperatur der Haut; c) von der Grösse der Hautflächen, welche gleichzeitig der Temperaturveränderung unterworfen werden und endlich d) von dem besondern Hautorte, in welchem der Temperaturwechsel vorgeht. —

Zu a). Erfahrungsgemäss empfinden wir bei allmähligem Uebergange von einer Temperatur zur andern den Abstand beider weniger scharf, als bei raschem Uebergang. Dieser Umstand muss einen Einfluss auf die Fähigkeit der einzelnen Hautstellen, Wärmeunterschiede zu empfinden, ausüben; da die Haut mit einem die Wärme schlecht leitenden Ueberzug und durch den stets kreisenden Strom des constanten temperirten Blutes, mit einem Wärmeregulator versehen ist, so muss je nach der Dicke der Epidermis und der Stromgeschwindigkeit des Bluts in verschiedenen Hautpartien die Abkühlung oder Erwärmung der Nerven durch dieselbe Temperatur in verschiedener Zeit erfolgen. — Zu b). Je entfernter die Temperatur, die jeweilig auf unsere Haut einwirkt, von derjenigen dieser letztern ist, um so lebhafter wird der durch sie hervorgebrachte Eindruck sein, wie sich aus dem vorhergehenden von selbst versteht und wie es die Erfahrung bestätigt. — Zu c) hat Weber noch die ausserordentlich wichtige Bemerkung gefügt, dass zwei benachbart gelegene Hautflächen sich mehr unterstützen, als zwei entfernt gelegene; so dass, wenn uns überhaupt die Differenzen zweier Temperaturen deutlicher bei Anwendung derselben auf grössere als auf kleinere Hautflächen erscheinen, die grösseren wiederum am empfindlichsten wirken, wenn alle dem Temperaturwechsel ausgesetzten Hautflächen im unmittelbaren Zusammenhang stehen. — Zu d). Endlich sind die Hautflächen, welche empfindlicher für den Temperaturwechsel sind, dieses nicht sowohl durch ihren Nervenreichthum, sondern aus andern noch nicht erforschten Gründen. Weber stellt folgende Reihenfolge der

Temperaturempfindlichkeit auf, die von den höheren Graden beginnt: Zungenspitze, Augenlider, Backen, Lippe, Hals, Rumpf; von der Gesichts-, Brust- und Bauchhaut gilt als Regel, dass die der Mittellinie näher gelegenen Theile weniger empfindlich sind, als die seitlichen. An den Extremitäten scheint bald dieser, bald jener Theil eine grössere Fähigkeit zur Temperaturempfindung zu besitzen.

Die beste Prüfungsmethode für einen Temperaturunterschied besteht nach den mitgetheilten Thatsachen darin, die verschiedenen Temperaturen auf eine und dieselbe möglichst grosse Hautfläche in unmittelbar auf einander folgenden Zeiten einwirken zu lassen.

Für eine zukünftige Theorie der Wärmeempfindung verspricht die von Weber entdeckte Thatsache von Wichtigkeit zu werden, dass zwei Gegenstände von gleichem absoluten Gewicht vom Drucksinn verschieden schwer geschätzt werden, wenn ihre Temperatur ungleich ist; der kältere erscheint schwerer.

Bemerkenswerth dürfte es auch sein, dass sehr heftige galvanische Ströme wechselnd bald Wärme-, bald Kälteempfindung erzeugen, wie bei du Bois *) angemerkt ist.

Andere besondere Gefühle, wie der Hunger, Durst, Wollustgefühl u. s. w. werden bei der Verdauung u. s. w. abgehandelt.

*) l. c, 1. Bd. 283.

Vierter Abschnitt.

Physiologie des Muskelsystems.

I. Allgemeine Muskelphysiologie.

A. Physiologie der quergestreiften Muskelröhre.

Anatomisches Verhalten *). Das Muskelrohr, das Formelement des rothen Muskelfleisches, endet mit seiner schmalen Seite entweder an einer Sehne oder frei in dem Muskel (Rollet). Das zur Sehne gekehrte Ende ist abgestumpft, das frei endigende aber spitzt sich sehr allmählig zu; in einzelnen Fällen (z. B. am Herzen) verästelt sich auch die Muskelröhre, und ihre Aeste verbinden sich mit anliegenden zu einem Netzwerk. — Das Mikroskop zerlegt die Muskelröhre in die Scheide, eine strukturlose ringsgeschlossene Haut und in den quer- oder längsgestreiften Inhalt. Die Querstreifung rührt davon her, dass in ihm zwei verschiedene Licht brechende Stoffe in abwechselnden Scheiben vertheilt sind (Rollet); jede Scheibe der stärker Licht brechenden Substanz (Bowmann's Disc's) besteht aus einer grossen Zahl von prismatischen Stücken (sarcous elements von Bowmann), welche in den verschiedenen Scheiben eines Muskelrohrs sich so genau entsprechen, dass sie, wenn der Röhreninhalt bei der Mazeration nach der Längsrichtung des Muskels zerfällt, zu gegliederten Fibrillen mit einander verbunden sind. An den Basen der prismatischen Stückchen scheint also auch die schwach brechende Zwischensubstanz sehr innig angeheftet zu sein. Die Scheiben dieser letztern sind stets viel dünner, als die der stärker

*) Kölliker, Mikroskopische Anatomie II. 1. p. — Leydig, Lehrbuch der Histologie. 1857. — Rollet, Wiener akadem. Berichte, April 1857. — E. Brücke, Denkschriften der k. Akademie der Wissenschaften. XV. Bd.

Licht brechenden, und sie sind auch viel leichter in verdünnter Salzsäure und Labsaft löslich, so dass ein Muskelrohr in diesen Flüssigkeiten in kurzer Zeit in die Scheiben des stärker brechenden Stoffes auseinander fällt (Bowmann, Frerichs, Rollet). — Die stärker Licht brechenden Scheiben brechen zudem das Licht doppelt, und zwar sind alle Erscheinungen so, als ob jedes einzelne Fleischprisma (sarcous element) ein einaxiger, positiver Krystall wäre, dessen Axe der Faserrichtung parallel ist. Diese Richtung verlässt die Axe bei der Contraktion nur insoweit, als es die jeweiligen Formveränderungen des Muskels eben erheischen, so dass sich also keine eigenthümliche mit der Zusammenziehung als solcher verbundene Lagenveränderung beobachten liess. Auch constante, selbst starke electrische Ströme bringen, wie immer durchgeleitet, keine Lagenveränderung hervor; ebenso werden die optischen Constanten bei der Zusammenziehung nicht merklich geändert. — Brücke, der diese fundamentalen Thatsachen entdeckt hat, schliesst, indem er die verschiedene Form und Grösse der Fleischprismen berücksichtigt, welche an ein und demselben Muskelrohr vorkommen, weiter, dass die Fleischprismen nicht selbst feste, doppelt brechende Körper von constanter Grösse und Gestalt sind, sondern dass sie vielmehr durch Gruppirung kleiner, fester, doppelt brechender Körper gebildet werden, welche Brücke Disdiaklasten (Doppelbrecher) nennt. Daher erklärt sich auch das verschiedene Verhalten, welches die Muskeln unter dem Mikroskop darbieten. Man findet oft Muskelröhren, an denen man gar keine Querstreifen wahrnimmt und bei denen auch die Fibrillen, in welche der Röhreninhalt zerfällt, nicht gegliedert sind; dieses sind solche, bei denen die Disdiaklasten auf der Längsaxe nicht gruppirt, sondern gleichmässig vertheilt oder bei denen die Gruppen so klein sind, dass man sie auch mit den stärksten Vergrösserungen nicht einzeln unterscheiden kann.

Ausser den Scheiben stellen sich dem bewaffneten Auge in dem Röhreninhalt noch kleine Zellen (Kerne) und ein Lückensystem dar. Die Kerne sind selten im Centrum der Röhre, so z. B. am Herzmuskel (Donders), an den Sceletmuskeln dagegen an der Grenze zwischen Hülle und Inhalt gelegen. — Das Lückensystem erscheint an den todtenstarren Muskeln zwischen den Fibrillen (Leydig). Je nachdem die Fibrillen (in verdünnten Säuren) aufschwellen oder (in Salzlösungen) schrumpfen, wird der Durchmesser seiner Oeffnungen grösser oder kleiner (Rollet).

Um am besten die einfach brechende Zwischensubstanz von der doppeltbrechenden zu unterscheiden, wählt man nach Brücke Muskeln aus den Beinen von Wasserkäfern (Hydrophilus piceus; Dydiscus marginalis) und macht sie mit Glycerin oder Dammafirniss durchsichtig, nachdem sie vorher in Alkohol entwässert wurden. Dann legt man sie auf eine Glimmerplatte, welche zwischen zwei Nicol's, deren Polarisationebenen gekreuzt sind, das Purpur gibt, welches auf der Grenze des ersten und zweiten Newton'schen Ringsystems im reflektirten Licht steht. Jetzt erscheint unter dem Polarisationsmikroskop die Farbe durch die doppeltbrechende Substanz in blau, resp. gelb verändert, während die einfachbrechende Zwischensubstanz purpurn erscheint, wie der Grund.

Bei Querdurchschnitten des Muskels zeigen diejenigen Cylinder, welche senkrecht zur Röhrenachse durchschnitten sind und bei denen die Achse in der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes liegt, keinerlei Spuren von doppelter Brechung, indem diese Achse auch zugleich die optische Achse ist.

Ob die Muskelsubstanz negativ oder positiv doppeltbrechend sei, bestimmte Brücke durch einen eignen Apparat, dessen wesentliche Stücke zwei Quarzkeile sind, die beide gleiche Winkel haben, und deren Schneiden beide senkrecht gegen die Krystallachse liegen. Verschiebt man diese Keile unter 90° gekreuzt übereinander, so kann man, da derjenige Strahl, welcher in dem einen Keil der ordinäre ist, in dem andern den extraordinären erzeugt, jeden beliebigen Gangunterschied zwischen ordinären und extraordinären hervorbringen. Legt man nun auf den obern Keil der Länge und Quere nach Muskelfasern, so zeigt es sich, dass sie optisch als Verdickung desjenigen Keils wirken, mit dessen Krystallachse sie parallel sind. Da der Bergkrystall positiv ist, so sind sie auch positiv.

Zum Verständniss der mustergültigen anatomischen Untersuchung von Brücke ist eine genaue Einsicht in die Polarisationserscheinungen des Lichtes nothwendig. Wir haben sie umsomehr als bekannt vorausgesetzt, weil in der verbreiteten Physik von J. Müller eine sehr klare Darstellung aller einschlagenden Lehren gegeben ist.

Chemisches Verhalten*). Die organische Grundlage der drei Formen des quergestreiften Muskelelements ist von verschiedener chemischer Zusammensetzung. Die Hülle besteht wahrscheinlich aus elastischer Substanz, die Kerne und der feste Röhreninhalt aus besondern eiweissartigen Stoffen.

Die Behauptung, dass die Muskelhülle aus elastischem Stoff bestehe, gründet sich auf die Schwerlöslichkeit derselben in Kali und Mineralsäuren. — Die Substanz der Fasern nähert sich in ihren Eigenschaften besonders rücksichtlich ihrer Löslichkeit dem geronnenen arteriellen Faserstoff; eine Analyse des aus der salzsauren Auflösung gefällten Stoffes ergab C 54,5; H 7,3; N 15,8; S 1,1; O 21,4; Strecker. Diese Zahlen weichen freilich von den für den Faserstoff gefundenen sehr ab. Obwohl wir nun den

*) Lehmann, physiolog. Chemie. Leipzig 1851. III. Bd. 76. — Fremy u. Valenciennes, Compt. rend. November 1855. — Schlossberger, Allgemeine Thierchemie. Heidelberg 1856. I. 149. — Strecker, Liebig's Annalen 102. Bd. p. 204.

Stoff weder zum Faserstoff noch zu einem andern eiweissartigen stellen können, so berechtigt uns diess dennoch nicht, eine eigene Spezies von eiweissartigen Körpern aus ihm zu bilden, und zwar um so weniger, als es festzustehen scheint, dass der Röhreninhalt auf den verschiedenen Abschnitten seiner Länge chemisch ungleichartig und somit der analysirte Stoff ein Gemenge sei. Der Stoff der Kerne löst sich leicht in KO, dagegen widersteht er der verdünnten Salzsäure, und ist somit weder mit der Hülle noch mit dem Inhalt identisch.

Ausser den erwähnten Stoffen enthält der feste Theil der Muskeln noch Fett, das entweder zwischen den Röhren liegt, oder auch in ihnen selbst enthalten ist: denn häufig kommen dem bewaffneten Auge Fetttropfen innerhalb des frischen Muskelrohrs zu Gesicht; jedesmal aber erscheinen sie in demselben, wenn aus der Scheide der Stoff der Fasern durch verdünnte Salzsäure ausgezogen wurde. Das aus dem Gesammtmuskel ausgezogene Fett ist ein Gemenge aus Olein, Margarin, Stearin und einer schmierigen fettartigen Substanz, welche phosphor- und stickstoffhaltig ist; es soll mit den Hirnfetten identisch sein (Valenciennes und Fremy). — Ferner ist der Muskel durch einen rothen, in Aether löslichen, sauren Stoff gefärbt, besonders reichlich kommt er dem Lachsfleisch zu, wesshalb ihn Fremy und Valenciennes Salmsäure nennen. Endlich enthält der feste Theil der Muskeln auch noch $2MgO, PhO_5$; $2CaO, PhO_5$ und $2Fe_2O_3, PhO_5$. —

Diese festen Massen werden von einer Flüssigkeit sehr wechselnder Zusammensetzung durchtränkt; im Falle höchster Complication enthält sie Eiweiss; Kreatin (Chevreul, Liebig); Kreatinin (Liebig); Sarkin ($C_{10}H_4N_4O_2$; Strecker); Hypoxanthin; Inosit (Scherer); Inosinsäure (Liebig); Milchsäure (Berzelius); Butter-, Essig-, Ameisensäure (Scherer); SO_3; PhO_5; CO_2; ClH; NaO; KO; CaO; MgO; Sauerstoffgas und Wasser. Der Wechsel in der Zusammensetzung dieser Flüssigkeit trifft soweit wir wissen, vorzugsweise das Kreatin und die organischen Säuren.

Inosit erhält man nur aus dem Herzmuskel; vielleicht nur darum, weil es dorthin aus der Lungenflüssigkeit geführt wird, wo es reichlich vorkommt (Cloëtta *)). — Buttersäure konnte Heintz **) aus Pferdefleisch nicht darstellen; er vermuthet, dass sie kein ursprünglicher Bestandtheil der Fleischflüssigkeit, sondern ein Zersetzungsprodukt derselben sei. — Scherer ***) vermuthet, dass das Hirnfett Fremy's identisch mit Virchow's Myelin, d. i. einem Gemenge aus Fett und Eiweiss, sei.

Die Gruppirung der Muskelstoffe zu Verbindung zweiter Ordnung ist noch nicht vollkommen gelungen, weil der Analytiker die Bestimmung nur zum kleineren Theil

*) Pharmaz. Centralblatt. 1855. p. 915.
**) Zoochemie. Berlin 1853. p. 447.
***) Scherer's Jahresbericht über physiolog. Chemie für 1855. p. 193.

aus der frischen Fleischflüssigkeit, zum grössten Theil aber aus der Asche des Rückstandes machen kann. Die indifferenten Eiweiss, Kreatin, Hypoxanthin und Inosit befinden sich wahrscheinlich als solche in Lösung. Kreatinin kommt entweder frei [dann reagiren die Muskeln alkalisch] oder an Phosphorsäure gebunden vor (Fremy). Die organischen Säuren (die Fremy'sche Oleophosphorsäure eingeschlossen) sind wahrscheinlich an KO und NaO gebunden; wir glauben dieses, weil die flüchtigen Säuren erst nach einem Zusatz von SO_3 zur Fleischflüssigkeit abzudestilliren sind und in Folge der Gegenwart von kohlensauren Salzen und phosphorsauren mit 3 Atom fixer Basis in der Asche, welche in der frischen Flüssigkeit nicht vorkommen. Die SO_3, die man in der Asche findet, ist wahrscheinlich ein bei dem Verbrennungsprozess aus dem S der eiweissartigen Körper entstandenes Kunstprodukt; man hält sich zu dieser Annahme berechtigt, weil in der Fleischflüssigkeit keine SO_3 nachweissbar ist (Liebig). Das Cl ist an Na vorzugsweise aber an K gebunden. Die PhO_5 ist an die fixen Kalien, an Kreatinin und an Erden geknüpft; mit den Erden bildet sie $2MgO, PhO_5$ und $2CaO, PhO_5$. Die kalischen Salze der Phosphorsäure sind wahrscheinlich bald nach der Formel $2KO, HO, PhO_5$ bald nach der $KO, 2HO, PhO_5$ zusammengesetzt. Obwohl in der Asche zuweilen KO fast in solcher Menge vorhanden ist, um einer Verbindung von der Form $3KO, PhO_5$ zu genügen, so ist man doch geneigt, die Gegenwart des basischen Kalisalzes in der lebenden Flüssigkeit zu verwerfen, weil die in der Flüssigkeit vorhandenen organischen Säuren das Bestehen einer solchen Verbindung nicht erlauben, und weil beim Glühen mit kohlensauren Salzen (die aus den organisch-sauren entstanden sind) das $2KO, HO, PhO_5$ unter Austreibung von CO_2 in $3KO, PhO_5$ verwandelt wird. Meist genügt jedoch nach Abzug des an Cl gebundenen Theiles, das in der Asche vorhandene KO nicht einmal, um sämmtliche PhO_5 als $2KO, HO, PhO_5$ zu binden; in diesem Falle ist saures phosphorsaures Kali in der Fleischflüssigkeit vorhanden gewesen, von dem neben Milchsäure die öfter vorhandene saure Reaktion des Muskels abhängig ist. Ein Theil der Phosphorsäure in der Asche muss aus dem Phosphor des Muskelfettes entsprungen sein. — Die CO_2 muss in der Fleischflüssigkeit diffundirt sein, da sie beim Eindampfen derselben so vollkommen entfernt wird, dass der Rückstand bei Uebergiessen mit Säuren nicht braust. Der O ist ebenfalls als Gas aufgelöst (?).

Die Menge der einzelnen festen Theile der Fleischflüssigkeit ist wechselnd. Helmholtz hat die wichtige Entdeckung gemacht, dass der in Alkohol löslche Theil des Rückstandes bedeutender wird, wenn die Flüssigkeit aus einem angestrengten Muskel gezogen ist. Du Bois hat diese Beobachtung dahin vervollständigt, dass der angestrengte Muskel sauer reagirt, während der ruhige sich neutral verhält. Aus der Untersuchung von J. Liebig ergibt sich ferner, dass alle Muskeln, welche sich bis zum Tode sehr lebhaft bewegten, mehr Kreatin enthalten, als die ruhig verbliebenen Nach G. Liebig nimmt endlich mit der Muskelzusammenziehung auch die Menge der CO_2 zu. — Sehr bemerkenswerth erscheint es, dass die Muskelflüssigkeit, wie Braconnot entdeckte, vorzugsweise Kalisalze im Gegensatz zum Blutserum, in dem die Natronsalze das Uebergewicht haben, enthält.

Die bis dahin geschilderten Verschiedenheiten machen die quantitativen Analysen der Muskelflüssigkeit werthlos, wenn diese letztere, was bisher unterblieb, nicht als eine mit den Muskelfunktionen variable aufgefasst wird.

Ueber die Lagerung der einzelnen Bestandtheile der Fleischflüssigkeit befinden wir uns ebenfalls noch nicht im Klaren. Man hat offenbar das Recht dazu, einen Theil der Flüssigkeit für Blut, welches in den Gefässen der Muskelsubstanz enthalten war,

anzusprechen. Aber abgesehen davon, dass man nicht weiss, welcher Theil dem Blut und welcher dem Muskel angehört, ist wohl auch unzweifelhaft die eigentliche Muskelflüssigkeit selbst verschieden gelagert, so dass die die Fibrillen umspülende Flüssigkeit eine andere Zusammensetzung besitzt, als die in der Umgebung der Röhren, und die in den Lücken vorkommende andere Bestandtheile führt, als die in die festen Stoffe eingequollenen. Es ist dieses darum mehr als wahrscheinlich, weil das zerhackte und mit Wasser ausgekochte Fleisch beim Verbrennen eine Asche hinterlässt, die noch phosphorsaures Kali, aber keine Cl-Verbindungen oder CO_2-Salze mehr enthält (Keller). Das erste in Wasser lösliche Salz muss also sehr innig und inniger als die andern dem Fleische adhäriren, da es durch das Auskochen mit Wasser nicht entfernt werden konnte*).

Physiologisches Verhalten.

Der Muskel wird dem thierischen Körper als Bewegungswerkzeug von Wichtigkeit; hierzu befähigt ihn die Beweglichkeit seiner kleinsten Theilchen, vermöge welcher diese sich so zu einander stellen können, dass das Muskelrohr bald kürzer und breiter, bald länger und dünner wird. Diesen Formveränderungen geht constant eine Reihe von andern Erscheinungen parallel, in denen zum Theil wenigstens der Grund der Formumwandlung zu liegen scheint; diese die Lagenveränderung der Theilchen begleitende Erscheinungen sind nun so beständig, dass sie selbst auch dann noch eintreten, wenn der Muskel durch mechanische Hindernisse gehemmt ist, in die den andern vorhandenen Bedingungen entsprechende Form zu gelangen; sie sind also constanter als die Formumwandlungen. Wenn wir nun dennoch in den folgenden Betrachtungen die Ueberschriften der Abschnitte von den Formerscheinungen nehmen, so geschieht dieses mit Vernachlässigung der Logik, die wir alter Gewohnheit zu Liebe geschehen lassen und die nach dieser Verständigung auch unschädlich ist. Die im Folgenden mitzutheilenden Ergebnisse sind meist an Froschmuskeln gewonnen, die, weil sie weniger veränderlich sind als die gleichnamigen Apparate der Warmblüter, sich vorzugsweise zur Beobachtung eignen.

A) Verlängerter Zustand des Muskelrohrs.

In verlängertem Zustand ist der Muskel mit besonderen elektrischen, elastischen, chemischen Eigenschaften und einer spezifischen Form begabt.

1. Elektrische Eigenschaften. Aufschlüsse, welche uns über die merkwürdigen elektrischen Eigenschaften des Muskels zu

*) Siehe über Asche des ganzen Pferdefleisches (der ursprünglich festen und flüssigen Theile) nach und vor Austreiben des Blutes aus den Gefässen Weber in Poggendorff's Annalen 76. Bd. p. 305 und 81. Bd. p. 91.

Theil geworden sind, verdanken wir den auch hier ausserordentlichen Leistungen von du Bois. Die Methoden, mittelst deren er die elektrischen Eigenschaften des Muskels untersucht, sind dieselben, die er bei der Aufdeckung der gleichen Verhältnisse der Nerven anwendete. Er bedient sich des Multiplikators und des stromprüfenden Froschschenkels.

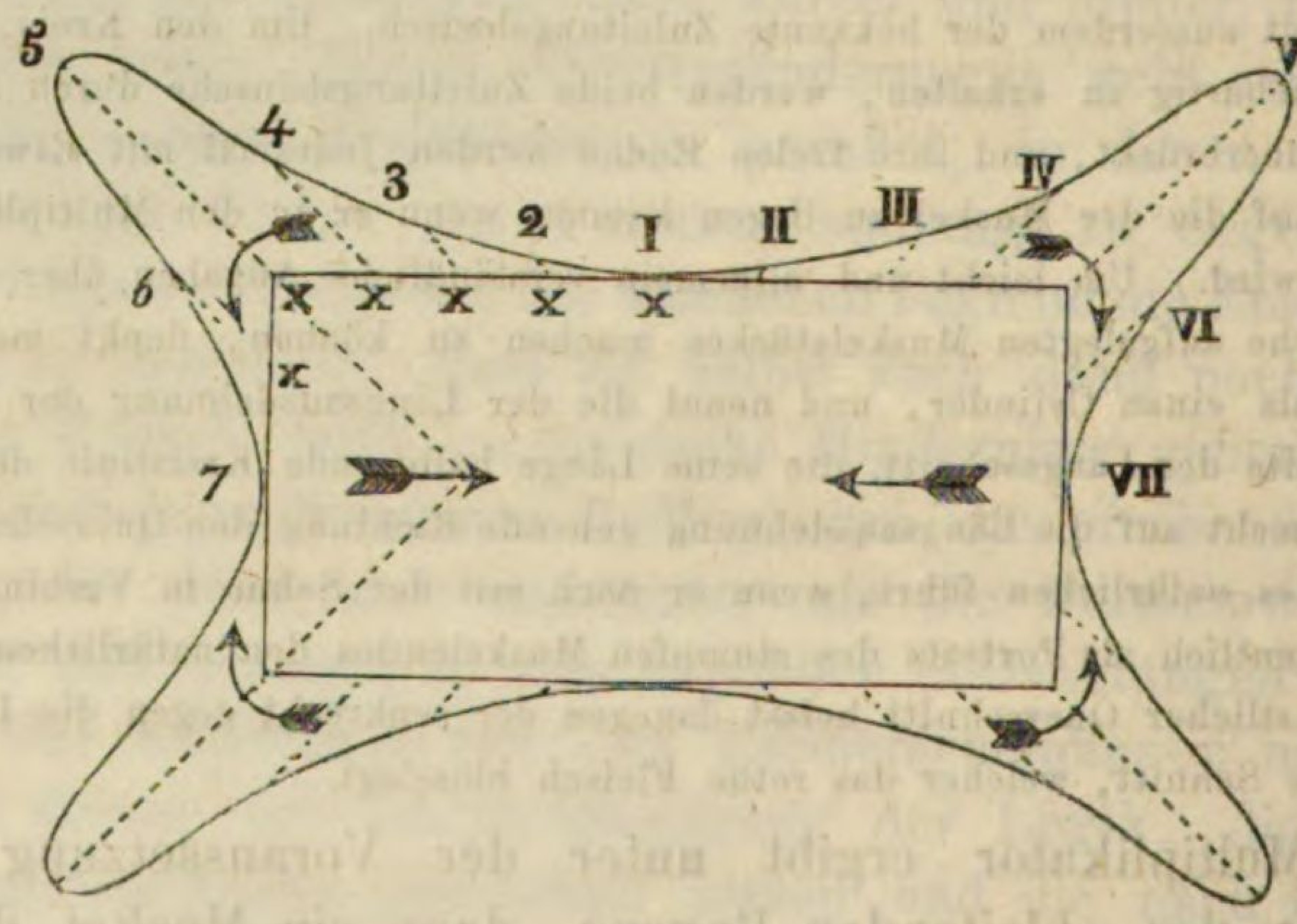
Der Multiplikator dient ihm abermals dazu, das Vorhandensein, das Wachsen, Sinken und die Richtung der im Muskel vorhandenen Ströme anzuzeigen. Da aber die Muskeln viel kräftigere Ströme nach aussen senden, als die Nerven, so ist es geboten, hier ein Werkzeug von einer viel geringeren Zahl, von höchsens 4000 bis 6000 Windungen anzuwenden. Im Uebrigen ist aber die Einrichtung dieses Multiplikators ganz dieselbe, welche demjenigen für den Nervenstrom zukömmt; hier wie dort münden die Drahtenden in Platinplatten aus, welche am oberen Ende gefirnisst, am unteren mit einer Hülle von Fliesspapier überzogen sind, und eben so tauchen sie in eine gesättigte Kochsalzlösung. In den beiden Gefässen, welche die Kochsalzlösung enthalten, liegt ausserdem der bekannte Zuleitungsbausch. Um den Kreis fortwährend elektrisch gleichartig zu erhalten, werden beide Zuleitungsbäusche durch den Schliessungsbausch überbrückt, und ihre freien Enden werden jedesmal mit Eiweisshäutchen überkleidet, auf die der Muskel zu liegen kommt, wenn er in den Multiplikatorenkreis eingeschaltet wird. Um leicht und allgemein verständliche Angaben über den Ort des auf die Bäusche aufgelegten Muskelstückes machen zu können, denkt man sich auch den Muskel als einen Cylinder, und nennt die der Längsausdehnung der Röhren entsprechende Seite den Längsschnitt, die seine Länge halbirende Kreislinie den Aequator, und die senkrecht auf die Längsausdehnung gehende Richtung den Querschnitt, welcher den Namen des natürlichen führt, wenn er noch mit der Sehne in Verbindung ist, so dass diese eigentlich als Fortsatz des stumpfen Muskelendes den natürlichen Querschnitt vorstellt; künstlicher Querschnitt heisst dagegen der senkrecht gegen die Längsausdehnung geführte Schnitt, welcher das rothe Fleisch blosslegt.

Der Multiplikator ergibt unter der Voraussetzung gleicher Spannweite des ableitenden Bogens, dass ein Muskel durch den Draht Ströme in der Richtung von der Oberfläche zum Querschnitt sendet und dass je nach der Auflegung des Muskels sogenannte unwirksame, schwache und starke Combinationen vorkommen, oder mit andern Worten, dass bei Auflegung gewisser Muskelstellen gar keine, bei Auflegung anderer, schwache, und bei Auflegung noch anderer, starke Ablenkungen der Nadeln erwirkt werden.

Der Muskel schickt nämlich gerade wie der Nerv keinen Strom durch den Multiplikator, wenn er mit zwei Punkten auf den Bäuschen ruht, die symmetrisch zum Aequator liegen, gleichgiltig ob diese zwei Punkte des Längs- oder des Querschnittes sind (unwirksame Combination). Setzt man dagegen den einen Bausch auf den Aequator und den andern in einen nahe gelegenen Ort des Längsschnitts, so erhält man eine schwache Nadelablenkung, die allmälig

wächst, wenn man bei gleichbleibender Entfernung der abgeleiteten Stellen gegen den Querschnitt hinrückt; dasselbe ereignet sich, wenn man den einen Bausch auf den Mittelpunkt des Querschnittes aufsetzt und den andern gleichfalls auf den letztern in der Nähe des Mittelpunktes, und dann bei gleichbleibender Entfernung der Bäusche auf dem Querschnitt gegen die Grenze des Längenschnitts vorrückt (schwache Anordnungen). Die starke Anordnung erhält man endlich, wenn man den einen Bausch auf den (künstlichen oder natürlichen) Quer- und den andern auf den Längenschnitt auflegt. Aus dem Gang der Nadelablenkung erhält man also das Gesetz der allmäligen Stromeszunahme durch dieselbe Curve ausgedrückt, die uns schon der Nervenstrom gab (Fig. 102). Diese Curve hat zur

Fig. 102.



Ordinatenachse die geraden, welche die Ecken des Rechteckes halbiren, wodurch der Muskeldurchschnitt dargestellt ist. Die Curve bedeutet, dass, wenn man die Bäusche auf der Oberfläche und zwar den einen im und den andern nahe bei dem Aequator aufsetzt (1, 2), die Nadelablenkung gering ist und dass sie nach dem Werthe von $2x$; $3x$; $4x$; $5x$ wächst, wenn man die Bäusche auf 2 und 3; 3 und 4; 4 und 5 u. s. w. fortrückt. Setzt man beide Bäusche zugleich an den Querschnitt an, so erscheint auf ihm dasselbe Gesetz des Stromwachsthums, wenn man mit der Stellung der Bäusche 6, 7 beginnt und zu 6, 5 fortschreitet. Da die Ströme, welche den Muskel umkreisen, vom Aequator nach entgegengesetzten Richtungen mit gleicher Stärke ausgehen und gegen den Querschnitt gleichmässig ansteigen, so werden bei einer Anlegung der Bäusche

symmetrisch um den Aequator z. B. auf II und 2; 3 und III u. s. f. zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung durch den Multiplikator kreisen, deren Wirkungen auf die Nadel sich gegenseitig aufheben müssen.

Am Muskel gilt ebenfalls die Thatsache, dass der Strom mit derselben Gesetzmässigkeit an Stücken von allen Grössen wiederkehrt, so dass man gleicher Richtung der Ströme und gleichen Gesetzen des Anwachsens begegnet, mag man ein längeres oder breiteres Stück noch so oft der Quere und Länge nach zerspalten. — Fernerhin ist auch hier nachweislich, dass Oberfläche und Querschnitt von einer Schichte indifferenten Leiters überzogen sind, und somit der Ort der elektrischen Gegensätze in dem Innern des Muskels oder in der Muskelröhre zu suchen sei, denn ohne dieses würden die schwachen Ströme auf Längs- und Querschnitt nicht erscheinen können, und man dürfte kein Minimum, geschweige, wie es der Fall ist, ein Maximum der Nadelabweichung erhalten, wenn man die Anordnungen Bausch, Längenschnitt, Querschnitt, Längenschnitt, Bausch (s. d. entsp. Fig. 13 p. 95) wählt.

Die Umstände, von denen bei sonst gleichen Verhältnissen die Grösse der Nadelablenkung abhängt, sind wiederum dieselben, denen wir bei den Nerven begegneten, nämlich die Länge, die Breite und die Lebenskräftigkeit des Muskelstücks; denn es wächst die Nadelablenkung mit der Verlängerung und Verbreiterung des Muskelstückes, und die Grösse des elektrischen Gegensatzes zwischen Längen- und Querschnitt tritt um so mächtiger hervor, je fähiger der Muskel sich zeigt, mechanische Widerstände beim Uebergang der verlängerten in die verkürzte Form zu überwinden, mit andern Worten: je weniger ermüdet er ist.

Dieser Uebereinstimmung gemäss schliesst du Bois auch hier auf die Gegenwart sehr kleiner, mit elektrischen Gegensätzen behafteter Theilchen, welche sich in der sogenannten peripolaren Anordnung finden.

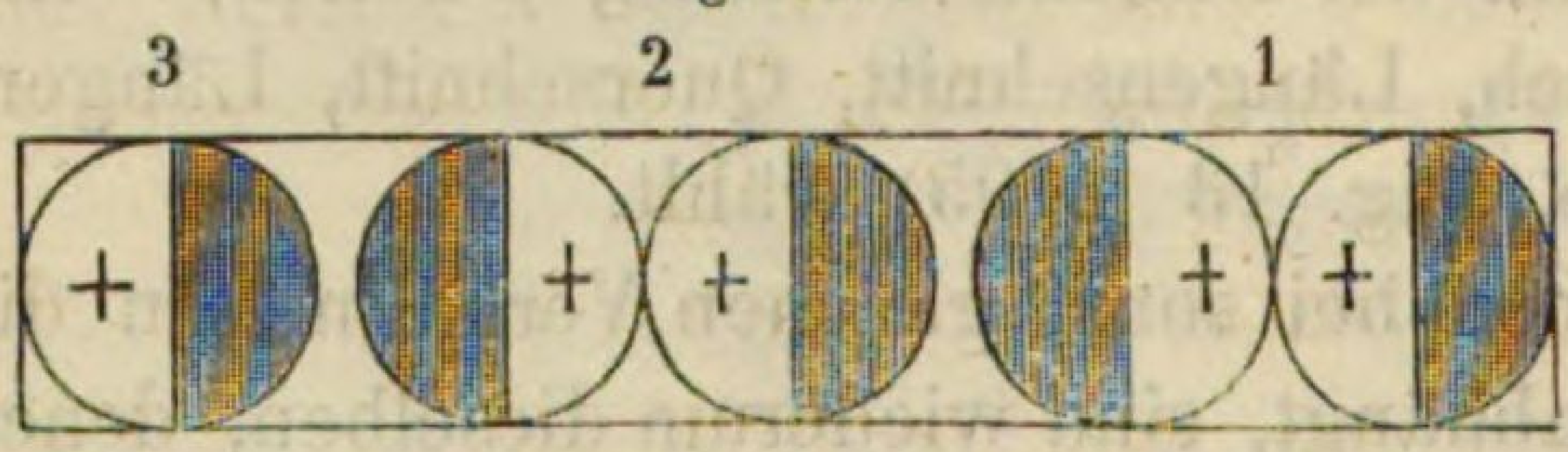
Nach allen diesen braucht nicht hervorgehoben zu werden, dass alles, was bei dem ruhenden Nervenstrom über das Grössenverhältniss zwischen dem Stromarm, der die Molekeln unmittelbar umkreist, und dem durch den Multiplikatorendraht wandernden gesagt worden ist, auch hier seine Anwendung findet.

Der frische *) Muskel zeigt, so lange seine Sehne mit keinen andern Flüssigkeiten als mit Blut und Lymphe in Berührung war,

*) Du Bois, Fortsetzung der Untersuchungen über thier. Elektrizität. Berliner akademische Monatsberichte. Juni 1851.

die Eigenthümlichkeit, dass der von der Oberfläche zum Querschnitt gehende Strom sehr schwach auftritt; er erscheint aber augenblicklich verstärkt, sobald man die Sehne in eine beliebige Flüssigkeit, die nur eine andere als Blut und Lymphe sein muss, eintaucht; denselben verstärkenden Einfluss übt eine Berührung der Sehne mit einem festen Körper und noch lebhafter wird der Strom, wenn man die Sehne ganz entfernt und statt des natürlichen den künstlichen Querschnitt auf die Bäusche legt. Aus diesen Thatsachen geht hervor, dass der frische nur mit Blut und Lymphe berührte Muskel an dem natürlichen Querschnitt eine leicht zerstörbare Schichte besitzen muss, welche das Hervortreten des Gegensatzes zwischen Oberfläche und Querschnitt verhindert. Du Bois vermuthet, es geschehe dieses dadurch, dass von den zu einem peripolaren Systeme zusammengeordneten Molekeln am Ende der Röhre nur die eine Abtheilung vorhanden sei, wie dieses die Fig. 103 versinnlicht, in welcher 1 und 2 ein vollkommen peripolares Molekel darstellen, 3 aber ein nur zur Hälfte vorhandenes.

Fig. 103.



Es bedarf keiner Auseinandersetzung, dass durch eine solche Einrichtung, welche Oberfläche und Querschnitt positiv macht, der Gegensatz bei der zum Verschwinden kommt. — Bei den Bewegungserscheinungen der Muskelmolekeln werden wir erfahren, warum gerade diese Annahme die meisten Gründe für sich hat.

Diese besonders gelagerte Schichte von Muskelmolekeln, welche du Bois mit dem Namen der parelectronomischen belegt, ist im lebenden Thier in verschiedentlicher Ausbildung vorhanden; am ausgeprägtesten oder vollständigsten erscheint sie bei Fröschen, welche sich längere Zeit in der Temperatur des schmelzenden Eises aufhielten, so dass an den Muskeln dieser Thiere scheinbar gar kein Strom oder auch ein Strom in umgekehrter Richtung erscheint. — Aber auch hier genügt die nur kurz dauernde Berührung der Sehne mit Wasser, Eiweiss, Alkohol, Säuren, Alkalien, Salzlösung u. s. w. u. s. w., um den Strom zu erwecken.

Durch den stromprüfenden Froschschenkel gelingt der Nachweis des elektrischen Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt ebenfalls leicht; und wegen der kräftigeren Ströme mit geringeren Hülfsmitteln als bei den Nerven. Es genügt, den frei präparirten n. ischiadicus des stromprüfenden Schenkels auf den Längsschnitt

eines Muskels zu legen und den Nerven dann plötzlich mit einem andern Theile seiner Länge auf den Querschnitt des Muskels zu senken, um die Zuckung erscheinen zu machen. Hierbei ist es gleichgültig, ob man den natürlichen oder künstlichen Querschnitt wählt, vorausgesetzt, dass am erstern die parelectronomische Schicht durch ein entsprechendes Mittel (Salzwasser, Erwärmen etc.) zerstört ist. — Der hier erwähnte Versuch stellt die voreinst so berühmte Zuckung ohne Metall dar, welche von Galvani entdeckt und durch v. Humboldt den Angriffen Volta's gegenüber aufrecht erhalten wurde.

2. Elastische Eigenschaften *). Die Untersuchung der elastischen Eigenschaften des ruhenden Muskels, welche von Ed. Weber in ausgezeichneter Weise begonnen und noch gründlicher von Heidenhain **) und Wundt fortgesetzt wurde, ist aus theoretischen und praktischen Gründen von grosser Bedeutung. Zunächst gibt sie uns Aufschluss über den Werth der Kraft, mit welcher die kleinsten Theilchen einer Masse ihre gegenseitige Lagerung zu erhalten, oder wenn sie aus ihr entfernt sind, wieder einzunehmen streben. Dieses Streben der kleinsten Theilchen einer mechanisch und chemisch noch so homogenen Masse ist, wie die Erfahrung lehrt, nicht die Folge einfacher, sondern sehr complizirter Gegenwirkungen, und so u. A. namentlich der elektrischen Spannungen, der Wärme, der Entfernung der Moleküle von einander (des spez. Gewichts) u. s. w. Die Untersuchung der Elastizität, welche ein Licht auf die molekularen Zustände eines Stoffes zu werfen gedenkt, muss also auf alles dieses Rücksicht nehmen; so würden beispielsweise die Veränderungen der Ausdehnbarkeit zu bestimmen sein bei einer Reihenfolge von Temperaturgraden, elektrischen Spannungen u. s. w., welche die Masse angenommen hat. — Wenn nun schon Stoffe, die nach unsern heutigen Begriffen gleichartig sind, so verschiedene Ausdehnbarkeiten gewinnen können, so ist es nicht auffallend, wenn die Elastizität chemisch und mechanisch so ungleichartiger Gebilde, wie der Muskeln, sehr mannigfaltige Werthe gewinnt.

Hieraus ist ersichtlich, dass, wollte man theoretische Absichten mit der Elastizitätsuntersuchung verknüpfen, jedesmal die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Muskels bekannt sein müssten, dessen Ausdehnbarkeit bestimmt werden soll; und

*) Muskelbewegung in Wagner's Handwörterb. III. 2. Abth.

**) Heidenhain, physiologische Studien. Berlin 1856. p. 49. — Wundt, Müller's Archiv. 1857. 298.

dieses wäre eigentlich unter allen Umständen um so nöthiger, als sich der aus dem Thier geschnittene und zum Elastizitätsversuch hergerichtete, noch zuckungsfähige Muskel ohne unser Zuthun fortlaufend so ändert, dass diese Aenderung von bedeutendem Einfluss auf das Elastizitätsmaass ist (Ed. Weber, Wundt). Weil nun die ebengestellte Forderung nicht zu befriedigend ist, so pflegt man die Untersuchung entweder zu beschränken auf diejenigen elastischen Eigenschaften, welche allen Muskelzuständen gemeinsam sind; oder man betrachtet die Elastizität mit Beziehung auf gewisse, mehr oder weniger genau zu constatirende Eigenschaften, welche das Resultat einer bestimmten chemischen und physikalischen Anordnung seiner Theilchen sind, wie z. B. der Intensität der von ihm ausgehenden elektrischen Ströme, seiner Fähigkeit sich zu verkürzen u. s. w.; oder endlich, man unterwirft denselben Muskel in rascher zeitlicher Folge bestimmten Einflüssen und prüft vor und während und nach dem Wirken eines solchen das Dehnbarkeitsmaass.

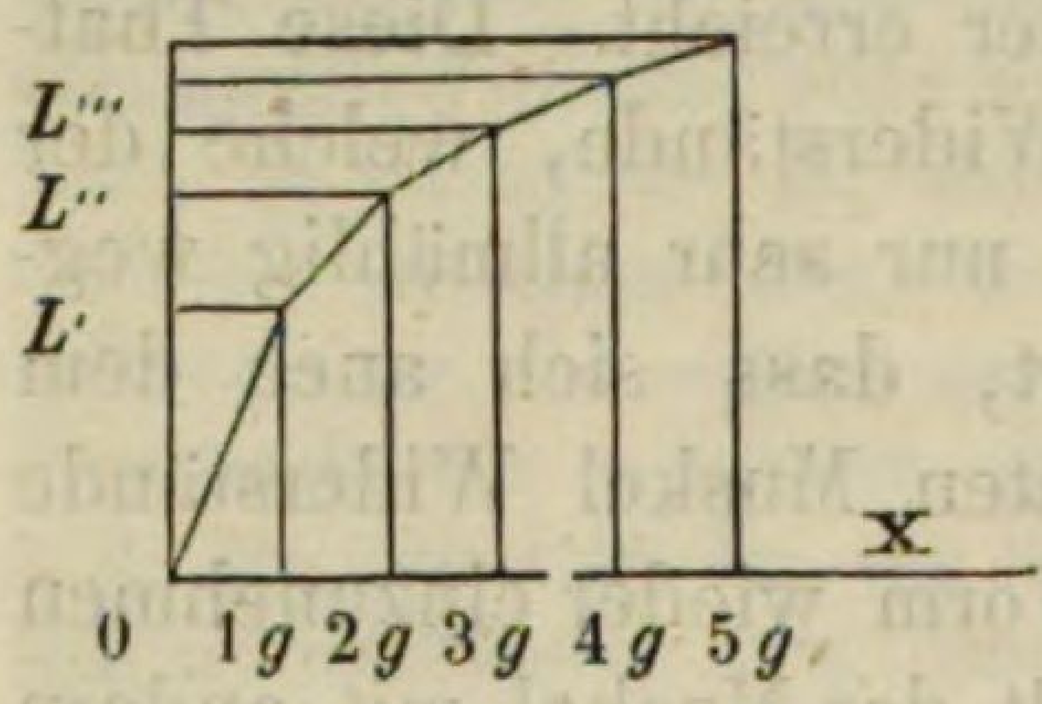
Abgesehen von allen theoretischen Hintergedanken, wird eine in dem bis dahin entwickelten Sinn geführte Untersuchung zugleich von praktischem Belang, weil sie uns Anhaltspunkte bietet, wie brauchbar das Muskelgewebe zum Heben von Gewichten sei, eine Aufgabe, die sie doch im Leben vorzugsweise zu lösen hat.

Aus den vorliegenden Beobachtungen hat sich nun ergeben: a) Der Muskel besitzt innerhalb gewisser, aber noch nicht genau gekannter Grenzen eine vollkommene Elastizität, d. h. er nimmt nach Entfernung des dehnenden Gewichts genau wieder die Form an, welche er vor der Ausdehnung besass; die Grenzen, in denen er nachweisslich vollkommen elastisch ist, sind rücksichtlich der Schwere des Gewichts und der Zeit, innerhalb welcher das letztere wirkt, nur gering. — b). Wird ein Gewicht an den Muskel gehängt, so nimmt er nicht momentan, sondern erst nach Verlauf einer mit mancherlei Umständen veränderlichen Zeitdauer die Länge an, welche überhaupt durch das Gewicht erzeugt werden kann. Wir theilen desshalb den gesammten Längenzuwachs, den der Muskel während der Spannung durch das Gewicht annimmt, in die Anfangs- und die Schlussdehnung. Berücksichtigt man nämlich das Verhältniss zwischen Verlängerung und der dazu nöthigen Zeit genauer, so gewahrt man, dass sich der Muskel in Folge und während der Belastung zuerst sehr rasch und dann sehr allmählig ausdehnt; der Muskel erreicht also fast mit dem Eintritt der Belastung den grössten Antheil seines gesammten Längenzuwachses (Anfangsdehnung), und dann in verhältnissmässig grosser Zeit den kleinern noch übrigen Theil der gesammten Dehnung (Schlussdehnung). Die Anfangsdehnung ist relativ um so geringer, je grösser die Belastung, und je grösser also auch der entsprechende gesammte Längenzuwachs ist, und unter derselben Bedingung wächst auch die Zeit, welche zur

Vollendung der Schlussdehnung nöthig ist. — Umgekehrt verkürzt sich der Muskel nach Entfernung des Gewichts zuerst rasch und dann sehr allmählig, so dass er abermals erst nach Verfluss eines grösseren Zeitraums seine ursprüngliche Länge wieder erreicht. Diese Thatsache lässt darauf schliessen, dass die Widerstände, welche der Muskel seiner Ausspannung entgegensetzt, nur sehr allmählig weggeräumt werden können, und umgekehrt, dass sich auch dem aus seiner natürlichen Lagerung gebrachten Muskel Widerstände entgegensetzen, wenn er seine natürliche Form wieder einzunehmen trachtet (Wundt). Dieses Verhalten theilt der Muskel mit andern organischen Stoffen, z. B. den Seidenfäden (W. Weber). — c) Der gesammte Längenzuwachs, welchen die Querschnitts- und Längeneinheit des Muskels während der Belastung gewinnt, steht im geraden Verhältniss zum angehängten Gewicht, vorausgesetzt, dass die Gewichte (und somit auch die Längenzuwächse) in engen Grenzen eingeschlossen bleiben. Diese Thatsache drückt man kurz so aus: der gesammte Längenzuwachs dividirt durch das Gewicht (dieser Quotient ist das Elastizitätsmaas) ist für alle successive zueinander gehörigen Werthe beider eine constante Zahl. Hiermit fällt ein bis dahin angenommener Unterschied zwischen der Elastizität durchfeuchteter und trockener Muskeln weg (Wundt). — d) Der Quotient aus der Anfangsdehnung in das Gewicht bleibt sich bei stufenweis steigenden Belastungen entweder gleich oder nicht gleich. Das erstere wurde in engen Belastungsgrenzen bis dahin bestätigt für den Fall, dass man nach jeder augenblicklichen Verlängerung den Muskel wieder entlastete und zu seiner alten Form zurückkehren liess. Das zweite dagegen (das veränderliche Dehnungsmaass), wenn man den Muskel, nachdem er die Anfangsdehnung erlitten, sogleich wieder von Neuem beschwert (Wundt). Insbesondere nimmt dann der genannte Quotient mit der steigenden Belastung ab, oder mit andern Worten, es wird beim Zusatz jeder folgenden Gewichtseinheit der durch sie erzeugte Längenzuwachs des gesammten Muskels kleiner. — e) Dasselbe Verhalten scheint der gesammte Längenzuwachs darzubieten, wenn man den Muskel mit verhältnissmässig grossen Gewichten beschwert. In diesem Fall ändert sich also der Elastizitätscoeffizient mit der Spannung und es kann darum die Elastizität nicht mehr durch eine, sondern er muss durch eine fortlaufende Reihe von Zahlen ausgedrückt werden (Wertheim, Weber). Diese Zahlen lassen sich zur Entwerfung einer Curve (Figur 104) benutzen, durch welche das

Gesetzmässige in der Abnahme der Dehnbarkeit mit der steigenden Spannung veranschaulicht wird.

Fig. 104.



Auf der Ordinatenachse y sind der Reihe nach die Längenzuwächse aufgetragen, welche die Längeneinheit durch die angehängten Gewichte, wie sie der Reihenfolge nach auf x verzeichnet, erfahren hat *). — Vergleicht man die von gleichen Gewichten 1 g, also von 1 g bis 2 g, dann von 2 g bis 3 g u. s. f. erzeugten Verlängerungen 0 L', L' L'', L'' L''' u. u. f., so sieht man sogleich, dass eine gleich grosse Steigerung der Gewichte einen immer geringern Längenzuwachs erzeugt; demnach erhält die Curve eine Krümmung, deren Convexität nach oben geht.

f) Die Ausdehnbarkeit hat sich in einer noch unbekannten Weise verändert, wenn der Muskel bedeutenden Spannungen unterworfen wurde. — g) Die Dehnbarkeit wächst, wenn das Vermögen des Muskels sich zusammenzuziehen abnimmt, oder mit einem Wort, wenn er ermüdet, resp. wenn die elektromotorischen Kräfte des Muskels sinken (Ed. Weber). — h) Die Ausdehnbarkeit des Muskels wird dagegen nicht geändert, wenn durch ihn ein selbst kräftiger elektrischer Strom geleitet wird (Heidenhain). Dieses ist in Uebereinstimmung mit der schon erwähnten optischen Beobachtung von Brücke, nach welcher die Lichtbrechung (also auch die Elastizität) des Muskels unverändert blieb, während ihn ein starker elektrischer Strom durchzog.

Angaben absoluter Werthe des Elastizitätscoeffizienten haben dem Vorstehenden gemäss noch wenig Werth; um so geringern, als die Muskeln verschiedener Orte einen sehr verschiedenen Bindegewebszusatz enthalten. Beispielsweise sei nach Wundt erwähnt, dass das Gewicht, welches einen Muskel von einem Quadratmillim. Querschnitt um das Doppelte seiner Länge ausdehnen sollte, 273,4 Gr. betragen müsste; diese Bestimmung bezieht sich auf den Muskel eines frisch geschlachteten Thieres; der in sehr engen Grenzen gedehnt wurde. Die Methoden zur Prüfung der Zugelastizität des Muskels haben zu berücksichtigen: die Wahl des Muskelstücks, namentlich müssen Muskeln mit paralleler Faserung genommen werden; die Befestigung, so dass Dehnungen der Sehnen u. s. w. nicht als solche des Muskels genommen werden; die Sicherung des senkrechten Zuges; die genaue Bestimmung des Muskelquerschnitts; die Vermeidung der Verdunstung u. s. w. Bedingungen für deren Erfüllung dle Abhandlungen von Ed. Weber, Heidenhain und Wundt mit Rath an die Hand gehen.

3. Wärmeeigenschaften. Die Temperatur des lebensfähigen ruhigen Muskels ist in gewisse Grenzen eingeschlossen; für den Froschschenkel liegen dieselben ungefähr zwischen — 3° C bis + 38° C;

*) Sie ist nach den Grundzahlen von Ed. Weber l. c. p. 109 entworfen.

tritt der Muskel aus dieser Temperatur heraus, so hat er momentan entweder seinen lebensfähigen Zustand überhaupt oder mindestens seinen ruhenden Zustand eingebüsst. — Aber auch innerhalb dieser Grenzen ist keineswegs jeder Grad gleich geeignet zur Erhaltung des Muskels; zahlreiche Erfahrungen haben festgestellt, dass der Muskel, wenn sich seine Temperatur dem obern oder untern Werthe der bezeichneten Grenze nähert, unter sonst gleichen Bedingungen rascher seinen lebensfähigen Zustand einbüsst, als wenn er auf einen mehr gegen die Mitte liegenden Temperaturgrad erwärmt wird.

Die bis dahin vorliegenden Untersuchungen beschränken sich darauf, die Zeit zu ermitteln, welche nothwendig ist, damit ein in Wasser von constanter Temperatur liegender Muskel seine Fähigkeit einbüsst, durch einen elektrischen Schlag in Zukung versetzt zu werden. Diese Versuche, richtig angestellt, geben höchstens Aufschluss darüber, dass überhaupt dem lebensfähigen ruhenden Muskel eine Normaltemperatur nöthig sei. Vorerst leidet aber auch dieser Aufschluss noch an Mängeln; denn man hat sich weder überzeugt, wie rasch der schlecht wärmeleitende Muskel die Temperatur des umgebenden Mediums annimmt; ebenso ist es wohl sicher, dass das Wasser unabhängig von der Temperatur schädlich ist. Die wahre Aufgabe besteht nun aber darin, zu ermitteln, wie während und nach der Wirkung einer bestimmten Temperatur die inneren Zustände des Muskels wechseln, ausgedrückt durch die Erregbarkeit, die chemische Zusammensetzung, die elektrischen Ströme und den Elastizitätscoeffizienten. Als Anfänge zu einer solchen Betrachtung sind anzusehen du Bois's Untersuchungen über die Steigerung des parelectronomischen Zustandes am erkalteten (?) und die zeitweise Umkehrung des Stroms am erwärmten Muskel; dieses letztere Verhalten werden wir bei der Wärmestarre noch einmal erwähnen.

Zur Erhaltung seiner Normaltemperatur muss der Muskel selbst im Ruhestand einen Beitrag liefern, weil der stets mit Sauerstoff durchdrungene Muskel CO_2 entwickelt. Zum grössten Theil aber dürfte der lebende Muskel seine Wärme aus dem Blute empfangen, wenn er trotz kräftiger Abkühlungen seine Temperatur behauptet.

4. Chemische Eigenschaften. In der allgemeinen chemischen Charakteristik des Muskels wurde erwähnt, dass die Zusammensetzung desselben eine wechselnde sei, hier ist hinzuzufügen, dass dieser Wechsel mit dem der physiologischen Zustände Hand in Hand geht. — Ob die ungelösten Bestandtheile des Inhaltes der Muskelröhre während ihrer Ruhe besondere nur diesem Zustand angehörige Eigenschaften zeigen, ist unbekannt; wir wissen dagegen, dass a) zur Behauptung der Lebenseigenschaften des Muskels die Gegenwart von freiem, in der Muskelflüssigkeit aufgelösten Sauerstoffgase nöthig ist (Humboldt, du Bois, G. Liebig*). Dieser

*) Müller's Archiv 1850. 393.

Sauerstoff wird von frischem Fleisch und dessen wässerigen Extract, selbst wenn es vorgängig gekocht ist, in Ozon umgesetzt (Schönbein*)); das letztere verbindet sich dann unter nachweisslicher CO_2-Bildung fortlaufend mit einem Theil der Muskelsubstanz. Da aber das aus dem Muskel tretende CO_2-Volum kleiner ist als das aufgenommene O-Volum, so muss, wenn sich im Muskel kein O oder CO_2 absorbirendes Mittel bildet, neben der CO_2 sich noch ein anderes Oxydationsprodukt erzeugen (Valentin**)). — b) Die erregbaren Muskeln nehmen aus der Atmosphäre weder Stickgas auf, noch geben sie es dorthin ab (Valentin). — c) Die Flüssigkeit eines ausgeruhten Muskels enthält sehr wenige in Alkohol lösliche Stoffe (Helmholtz***)) und reagirt neutral, sonach entbehrt sie der sauren Salze oder der freien Säuren (du Bois). — d) Der Röhreninhalt solcher Muskeln, welche unter sonst noch so günstigen Verhältnissen sehr anhaltend der Ruhe überlassen blieben, mindert sich nicht allein allmählig, sondern er wandelt sich auch um.

Um die Nothwendigkeit der Gegenwart des in den Muskeln anwesenden O-Gases zu erweisen, hingen du Bois und G. Liebig die beiden Unterschenkel eines Frosches in verschiedene Gasarten und setzten die Zeit fest, während welcher sie sich in beiden Gasarten zuckungsfähig erhielten. Da jedesmal gleichzeitig die beiden Unterschenkel in verschiedene auf ihre Wirkung zu vergleichende Gasarten gebracht wurden, so waren damit die aus der Individualität des Frosches herrührenden Ungleichheiten beseitigt. Um den Gasen den Zutritt zur Muskelsubstanz zu erleichtern, waren die Schenkel vorsichtig ohne Verletzung der Fascien enthäutet; um das Eintrocknen der Schenkel zu verhüten, war der Gasraum, in dem sie sich befanden, gesperrt und mit HO-Gas gesättigt. Der elektrische Schlag, durch den die Muskeln zur Zuckung veranlasst wurden, war für beide Schenkel dadurch gleichgemacht, dass derselbe zugleich durch beide Schenkel ging. Die Schenkel erhalten sich in O länger als in atmosphärischer Luft zuckungsfähig, und in dieser länger als in N, CO_2, H. — Das um die Muskeln befindliche O-Gas wird von ihnen absorbirt, und zur Bildung von CO_2 verwendet, welche in die Atmosphäre austritt. Diese Sauerstoffabsorption und CO_2-Bildung ist um so lebhafter, je frischer der Muskel. Da nun die Muskeln auch noch fortfahren, CO_2 zu entwickeln, wenn sie durch Injection mit Wasser von Blut befreit und ausserdem in eine Atmosphäre von N aufgehängt waren, so muss O in der Muskelflüssigkeit aufgelöst gewesen sein, und daher rührt es denn auch, dass die Schenkel in der andern Gasart nicht sogleich, sondern erst nach Verfluss einiger Zeit ihre Zuckungsfähigkeit einbüssen. — Das Genauere über die Abnahme des Gewichts und der Form der Muskeln in dem Zustand anhaltender Ruhe siehe bei der Ernährung derselben. —

*) Münchener akadem. Abhandlungen VIII. Bd. 1. (1856).
**) Archiv f. physiolog. Heilkunde. 1855.
***) Müller's Archiv 1845. 72.

B) Verkürzter Zustand des Muskelrohrs.

Wenn der Muskel mit den bisher geschilderten Eigenthümlichkeiten angethan ist, so verwandelt er sich unter dem Hinzutritt einer beschränkten Zahl von neuen Bedingungen in die verkürzte Form. Mit dem Eintritt dieser Formveränderung erscheinen aber auch zugleich seine elastischen, elektrischen, thermischen und chemischen Eigenschaften geändert; unverändert erhält sich nur sein Brechungsvermögen.

Da diese Umänderung der molekulären Eigenthümlichkeiten als Folge einer Reihe von Bedingungen, die wir so eben als den lebenden, ruhenden Muskeln beschrieben haben, und einer Reihe von neuen, die man mit einem Worte Muskelerreger nennt, auftreten, so muss der Grad der Ausbildung, mit welchem die Verkürzung in die Erscheinung tritt, abhängig sein von dem Zustand des ruhigen Muskels und der Art und der Stärke des Muskelerregers. Es entwickelt sich darum die logische Aufgabe, zuerst zu untersuchen, welche Einflüsse Muskelerreger sind; ferner wie mit der Veränderlichkeit derselben und dem gleichbeibenden Zustand des Muskels die Werthe der Formumänderung wachsen und fallen; darauf wie sich die letztern gestalten bei gleichem Werth des Muskelerregers und einem verschiedenen Gehalt des Muskels an Sauerstoff, Eiweiss, Säuren, Kreatin, Salzen u. s. w., oder wenn die wissenschaftlichen Hülfsmittel die Zergliederung des Phänomens bis auf seine Elemente noch nicht erlauben, wie die Formveränderungen wechseln mit den primären resultirenden dieser Elementarfunktionen, nämlich mit dem Elastizitätscoeffizienten, der Stärke der elektrischen Strömung, der Wärme des ruhenden Muskels.

1. Muskelerreger. Zuerst kommen in Betracht die Schwankungen der Muskelverkürzung mit der Veränderlichkeit der sogenannten Muskelerreger.

Ueber die Methode zur Anstellung dieser Versuche gilt das früher bei den Nerven bemerkte S. 131.

a) Die Verkürzung tritt jedesmal ein, wenn die in den Muskel eingehenden Nerven in den erregten Zustand oder genauer ausgedrückt, in denjenigen gelangen, der durch die elektronegative Stromesschwankung charakterisirt ist. Die Umstände aber, unter welchen der Muskelnerv überhaupt erregt wird, sind α) bestimmte nicht näher definirbare Seelenzustände, die wir mit dem allgemeinen Namen Willen bezeichnen. — β) Eigenthümliche Verhältnisse des Rückenmarks und Hirns, die wir unter dem nichtssagenden Namen

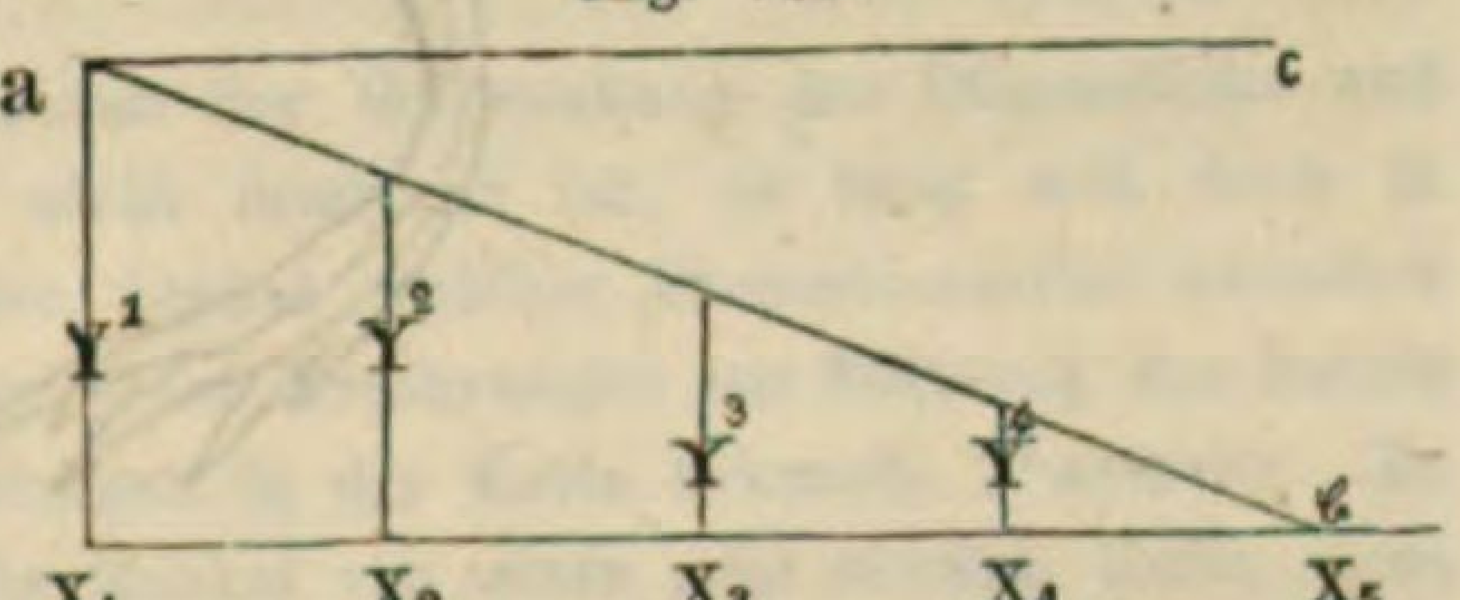
automatischer und reflektorischer Erregung begreifen. — γ) Diejenigen Temperaturen, welche momentan mit ihrem Eintritt den Nerven zerstören. Nach Eckhardt *) wird dieses im Froschnerven erreicht durch Temperaturen, welche jenseits — 3° bis — 5° R. und ebenso jenseits + 53° bis + 54° R. liegen. Mit der Länge der von diesen Kälte- oder Wärmegraden getroffenen Nervenstücke wächst die Stärke der Zuckung, sie ändert sich dagegen nicht mit der Entfernung des getroffenen Stückes von dem Eintritt in den Muskel. — δ) Von den auf den Nerven angewendeten chemischen Atomen erzeugen nach Eckhardt **) eine vorübergehende Zuckung, begleitet von dem Absterben der Nerven, Lösungen, die über 1 bis 2 p.C. KO und NaO; über 10 bis 20 p.C. NO_5 und ClH; über 45 bis 60 p.C. SO_3 enthalten; ferner Metaphosphorsäure, sehr conzentrirte Essig- und Weinsäure; wässriger Alkohol von über 90 p.C.; Kreosot; $AgONO_5$. — Anhaltende sog. tetanische Erregung erzeugen dagegen die zwei- und mehrprozentigen Lösungen von NaCl; CaCl; AmCl; KId; KO, $2CO_2$; NaO, $2CO_2$; NaO, SO_3 und KO, SO_3, ferner sehr conzentrirte Zuckerlösungen. Wenn, während noch bestehender Zuckung, die Salze durch Wasser aus den Nerven ausgewaschen werden, so sind die Zuckungen gehoben und es bleibt der Nerv erregbar zurück. Zuckung erzeugt endlich ein rasches Eintrocknen des Nerven, also eine Wasserentziehung (?). — Zahllose andere conzentrirte Lösungen selbst sehr kräftig wirkender chemischer Stoffe, wie die der gewöhnlichen Phosphorsäure, des Ammoniaks, der Metallsalze zerstören zwar den Nerven, bringen ihn aber nicht in den Erregungszustand. — ε) Formveränderungen des Nerven (wie sie Pressungen und Zerrungen hervorbringen) sind von Erregungen desselben begleitet. Die Erregung besteht jedoch, im Gegensatz zum Gefühlsnerven, nicht so lange, als die Formveränderung anhält, sondern nur während der Zeit, in welcher sie eintritt, in welcher also der Nerveninhalt selbst bewegt wird. Gibt man also dem gestaltändernden Werkzeug, wir wollen sagen einem zusammenpressenden, die Einrichtung, dass es in rascher Folge eine fixirte Stelle des Nerven trifft und verlässt, und damit eine hin und hergehende Bewegung im Inhalt des Nervenrohrs einleitet, so kann man hierdurch einen minutenlangen Krampf des Nerven, resp. Muskels erzeugen (Heidenhain). Die Geschwindigkeit, mit welcher der

*) Henle u. Pfeufer X. 164.

**) Henle u. Pfeufer Neue Folge II. Bd.

Nerveninhalt verschoben wird, soll nach Valentin für die Erregung des Nerven nicht gleichgiltig sein, da eine rasche Durchschneidung des letztern keine Muskelzuckung zur Folge hat. — ϑ) Zu den Erregern des Muskelnerven gehört endlich der elektrische Strom; dieser vermag jedoch nur dann den Nerven in den bewegungserzeugenden Zustand zu versetzen, während seine Stärke in Schwankungen begriffen ist; er erzeugt dagegen keine Zuckung, so lange er mit gleichbleibender Stärke durch den Nerven strömt. Dieses von du Bois zuerst ausgesprochene Gesetz wird durch eine graphische Darstellung in vollem Umfang verständlicht werden. Es mögen zu dem Behuf, Fig. 105, die Ordinaten Y die Stärken des Stromes bedeuten, welche er in verschiedenen Zeiten X_1 X_2 . . . besitzt, während er auf den Nerven wirkt*), die Zeiten denken wir uns auf die Abszisse aufgetragen. Dem obigen Gesetz gemäss würde also ein Strom, dessen Intensitäten sich auf Y^1, Y^2, Y^3, Y^4 u. s. w. während der entsprechenden Zeit X_1, X_2, X_3, X_4 u. s. w. ändern, erregend wirken, während ein Strom von der Form ac, dessen Ordinaten während der ganzen Stromdauer unveränderlich sind, den Nerven in scheinbarer Ruhe lässt.

Fig. 105.

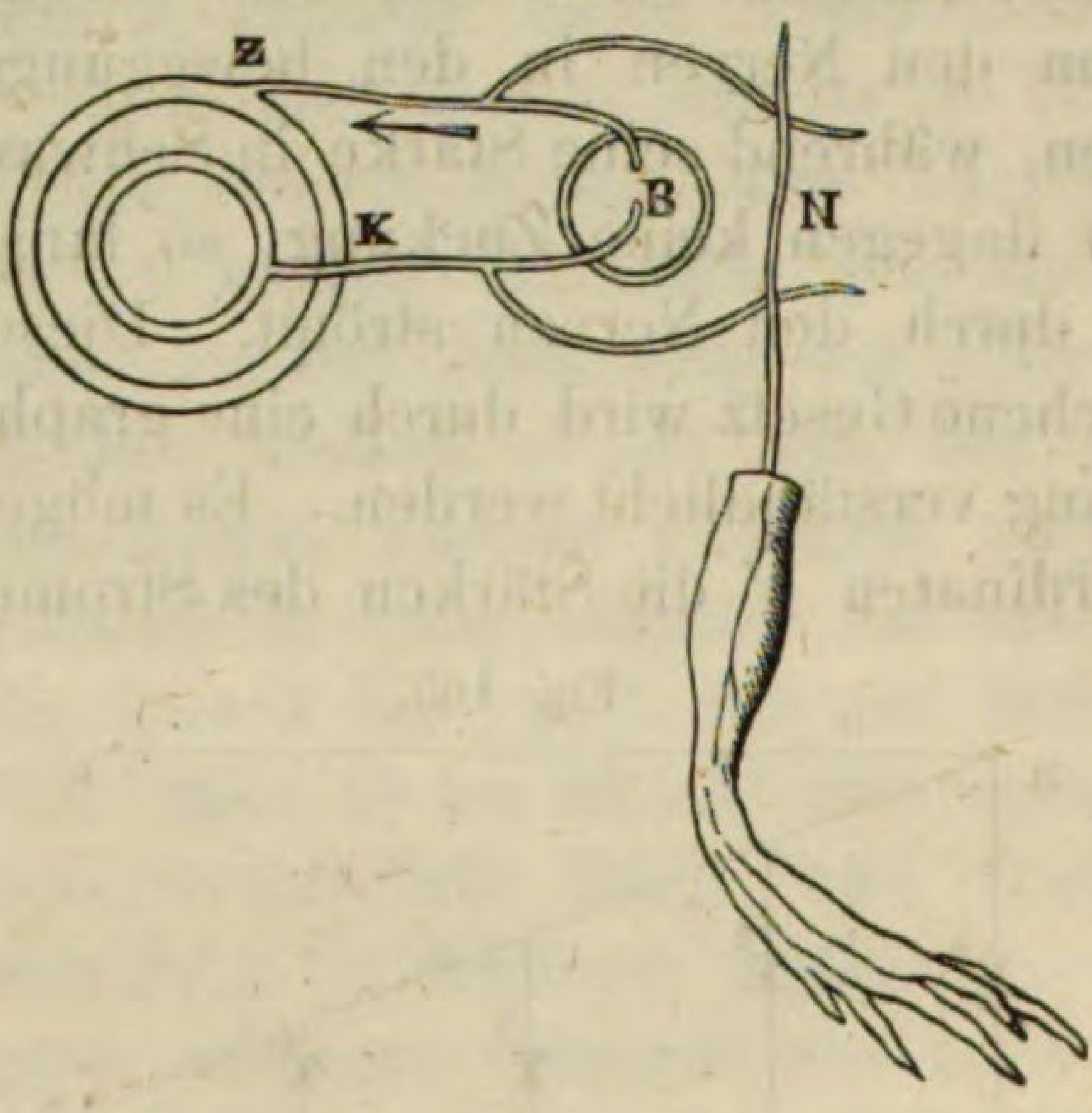


Die Mittel, um die Elektrizität in veränderlicher Dichtigkeit durch den Nerven strömen zu lassen, sind sehr zahlreich; es möge genügen, einige derselben, die zugleich als Bestätigung des Gesetzes dienen, anzuführen. Berührt man einen Nerven, an dem noch der zugehörige Muskel befindlich, mit den Polen einer constanten elektrischen Batterie, so dass diese durch den Nerven geschlossen wird, so erscheint mit der Schliessung eine Zuckung, — die Schliessungszuckung — während der Dauer des Schlusses bleibt der Muskel ruhig, er zuckt aber von Neuem, so wie man den Pol von dem Nerven entfernt, — die Oeffnungszuckung — im ersten Fall stieg also der Strom in dem Nerven von Null bis zu dem hier möglichen Maximum seiner Stärke an; im zweiten Fall sank er von diesem auf Null zurück. — Die Schwankung der Stromstärke, die hier durch Oeffnung und Schliessung erzeugt wurde, kann begreiflich auch erzielt werden durch Veränderung in dem Leitungswiderstand bei geschlossener Kette. Schliesst man z. B. wie in Fig. 106 der folgenden Seite den Strom K, Z, B, N durch den Nerven, so kann man letztern so oft man will in den zuckungserregenden Zustand versetzen, wenn man die Nebenschliessung B bald öffnet und bald schliesst, weil hierdurch die Dichtigkeit des Stromarmes, welcher durch den Nerven kreist, fortwährend verändert wird, indem dann die entwickelte E. bald durch beide Stromarme gehen kann, bald aber auch nur auf einen sich beschränken muss.

*) Die Ordinaten bedeuten also die Menge von Elektrizität, welche in jedem unendlich kleinen Zeittheil durch den Querschnitt des Nerven strömt.

Aus dem du Bois'schen Gesetz folgt die wichtige Ableitung — die praktisch aber schon früher bekannt war — dass man von dem Nerven aus einen Muskel in dauernde oder tetanische Zusammenziehung versetzen kann, wenn man auf ihn einen elektrischen Strom von fortwährend veränderlicher Stärke (Intensität und Dichtigkeit) wirken lässt. Zu den elektrischen Apparaten, welche fortwährend veränderliche Ströme entwicklen und sich demgemäss zur Herbeiführung tetanischer Erregung besonders eignen, gehört die Saxton'sche Maschine (elektromagnetischer Rotationsapparat) und das Neef'sche Blitzrad, welches in einer von du Bois verbesserten Form *) sich vorzugsweise dem Physiologen nützlich erweist. —

Fig. 106.



Eine Ausnahme von dem mitgetheilten Gesetz scheint einzutreten, wenn man durch den Nerven den Strom einer sehr starken constanten Batterie schickt; so lange der Strom dauert, besteht dann auch ein unter Umständen heftiger Tetanus. Hier liegt aber sogleich die Vermuthung nahe, dass ein solcher Strom elektrolytische Zersetzungen des Nerven eingeleitet, und dass die dabei abgeschiedenen Zersetzungsprodukte als Reize gewirkt haben. Dieses bestätigt sich insofern, als der Strom den Nerven tödtet und zwar in um so kürzerer Zeit, je kräftiger er war.

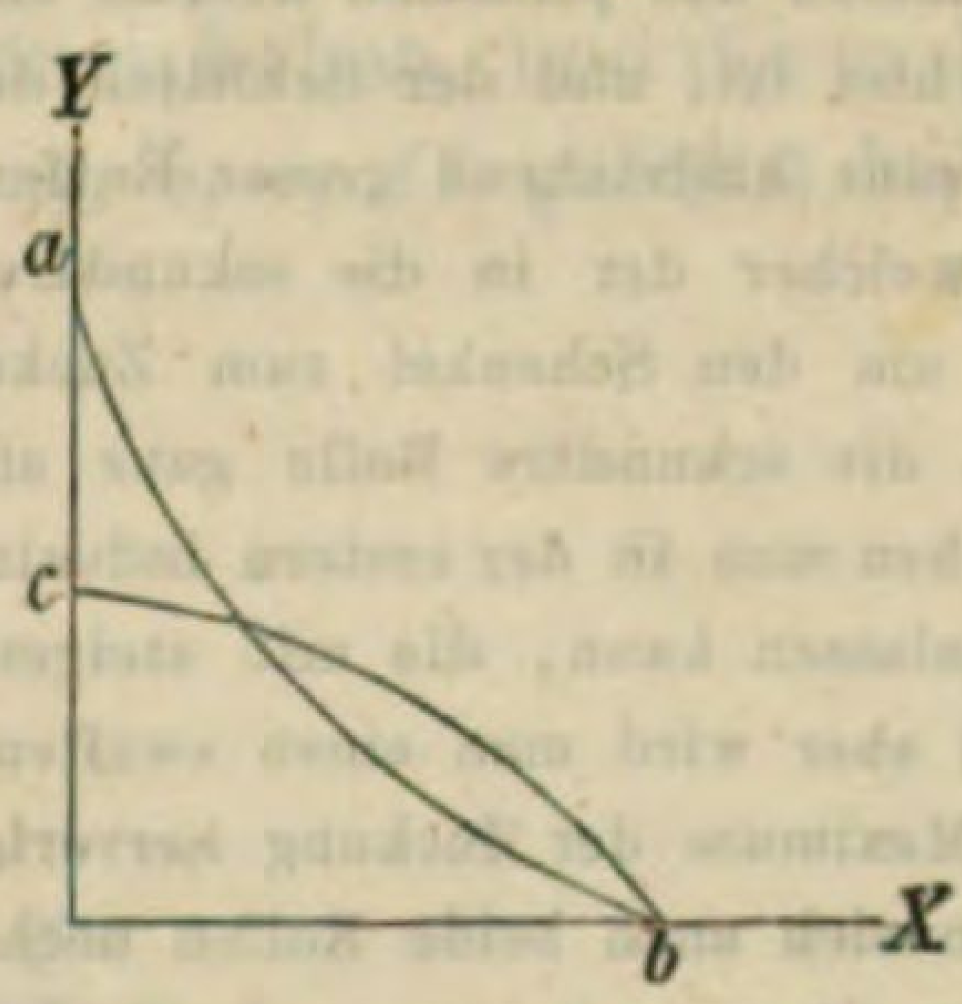
Verändern sich die Bedingungen, unter welchen ein Strom von schwankender Dichtigkeit auf den Nerven trifft, so verändern sich, wie wir im Folgenden angeben werden, auch die Werthe der Erregung, bezüglich die Muskelverkürzung.

Der Umfang der Verkürzung wächst mit dem Dichtigkeitsunterschied, den der erregende Strom in der Zeiteinheit erfährt (du Bois). Dieser Ausspruch ist in Fig. 107 graphisch dargestellt. Man trug zu dem Behuf auf die Abszisse X wiederum die Zeit auf, während deren ein Strom auf den Nerven wirkt, und auf die Ordinate Y die Veränderungen seiner Dichtigkeit während dieser Zeit. Wir wollen nun annehmen, es habe sich in ver-

*) Du Bois, thierische Electr. II. Bd. 1. Abth. 393 Note.

schiedenen, jedoch gleichlangen Zeiten *ob* durch zwei verschiedene Ströme jedesmal dieselbe Elektrizitätsmenge durch den Nerven hindurch abgeglichen. Der eine habe aber mit der Dichtigkeit *oa*, der andere mit der Dichtigkeit *oc* begonnen, so wird *ab* in derselben Zeit grössere Dichtigkeitsveränderungen erlitten haben, als *cb*. Demnach wird der Strom *ab* eine umfangreichere Zuckung erregen, als *cb* und zwar in dem Maasse, als die Steilheit der ersteren Dichtigkeitscurve grösser ist, als die der zweiten.

Fig. 107.



Obwohl das genauere Verhältniss zwischen der Schwankung der Stromstärke und dem Umfang der Zusammenziehung noch nicht ermittelt ist, so lässt sich doch in der oben mitgetheilten Weise das Bestehen irgend welcher Proportionalität zwischen beiden Vorgängen behaupten. Als eine der vielen Erfahrungen zur Stützung des Satzes diene die unter dem Namen des Einschleichens in die Kette bekannte Thatsache. Es besteht dieses Einschleichen darin, dass ein Muskel von einer sehr starken Kette nicht zur Zuckung gebracht wird, wenn man die Stärke ihrer Wirkung sehr allmählig wachsen lässt; dieses geschieht u. A. dadurch, dass man den Nerven in dieselbe einschaltet, während man gleichzeitig noch einen ganz ausserordentlich grossen Widerstand in sie einschiebt, so dass im Moment des Nerveneintritts kaum ein Strom den Kreis durchläuft; vermindert man nun ganz allmählig den Widerstand, oder mit andern Worten, steigert man ganz allmählig den Strom, so kann man den Nerven, ohne eine Zuckung von ihm zu erhalten, in einen Strom bringen, der den Nerven, vorausgesetzt, dass derselbe rasch in ihn eingeführt worden wäre, in die lebhafteste Erregung versetzt haben würde.

Mit der Abgleichungsgeschwindigkeit einer gegebenen Menge von Elektrizität durch den Nerven wächst die Zuckung jedoch nicht bis in das Unendliche; es ist im Gegentheil diese Proportionalität eine sehr beschränkte, indem der Umfang der Zuckung sehr bald einen Grenzwerth erreicht, der nicht überschritten wird, so gross auch der Spannungsunterschied der Elektrizität im Beginn und zu Ende der Zeit, in welcher sie den Nerven durchläuft, gewählt sein mag.

Diese Behauptung kann man sehr leicht mittelst des du Bois'schen Schlitten-Elektromotors bestätigen. Man entferne aus dem Hohlcylinder, auf dem die primäre Drahtrolle gewickelt ist, alle Stahldrähte, schraube die unterbrechende Feder fest, so dass die letztere durch ihre Schwingung den Strom nicht mehr unterbrechen kann, bringe nun mit der Rolle eine nicht allzustarke Stromquelle in Verbindung und richte ausserdem den primären Kreis so ein, dass man ihn nach Belieben rasch öffnen und schliesen kann. Dann schalte man in die sekundäre Rolle den Nerven eines Froschschenkels ein. Schliesst man und öffnet man nun den primären Kreis, so wird jedesmal

ein Strom in der secundären Rolle induzirt, welcher als Reiz für den Nerven wirkt; wir wollen jedoch irgend eine Einrichtung in der sekundären Rolle voraussetzen, vermöge welcher durch den Froschnerven nur einer der induzirten Ströme, z. B. der beim Schliessen des primären Kreises entstehende, fahre. Man wird, wenn alles dieses eingerichtet ist, und der Schlitten des Elektromotors die genügende Länge besitzt, jedesmal eine hinreichend grosse Entfernung zwischen primärer und sekundärer Rolle finden, bei welcher der in die sekundäre Rolle induzirte Strom von zu geringerer Intensität ist, um den Schenkel zum Zucken zu bringen. Nachdem dieses geschehen, nähere man die sekundäre Rolle ganz allmählig der primären; damit wird auch der Strom, welchen man in der erstern induzirt, bald soweit gewachsen sein, dass er eine Zuckung veranlassen kann, die mit steigender Näherung der Rollen im Wachsen begriffen ist. Bald aber wird man einen zweiten Punkt erreichen, an welchem der Induktionsschlag ein Maximum der Zuckung hervorbringt, d. h. es wird die Zuckung nicht mehr stärker, wenn sich auch beide Rollen noch mehr nähern, obwohl dann die Intensität des induzirten Stromes immer noch im Steigen begriffen ist.

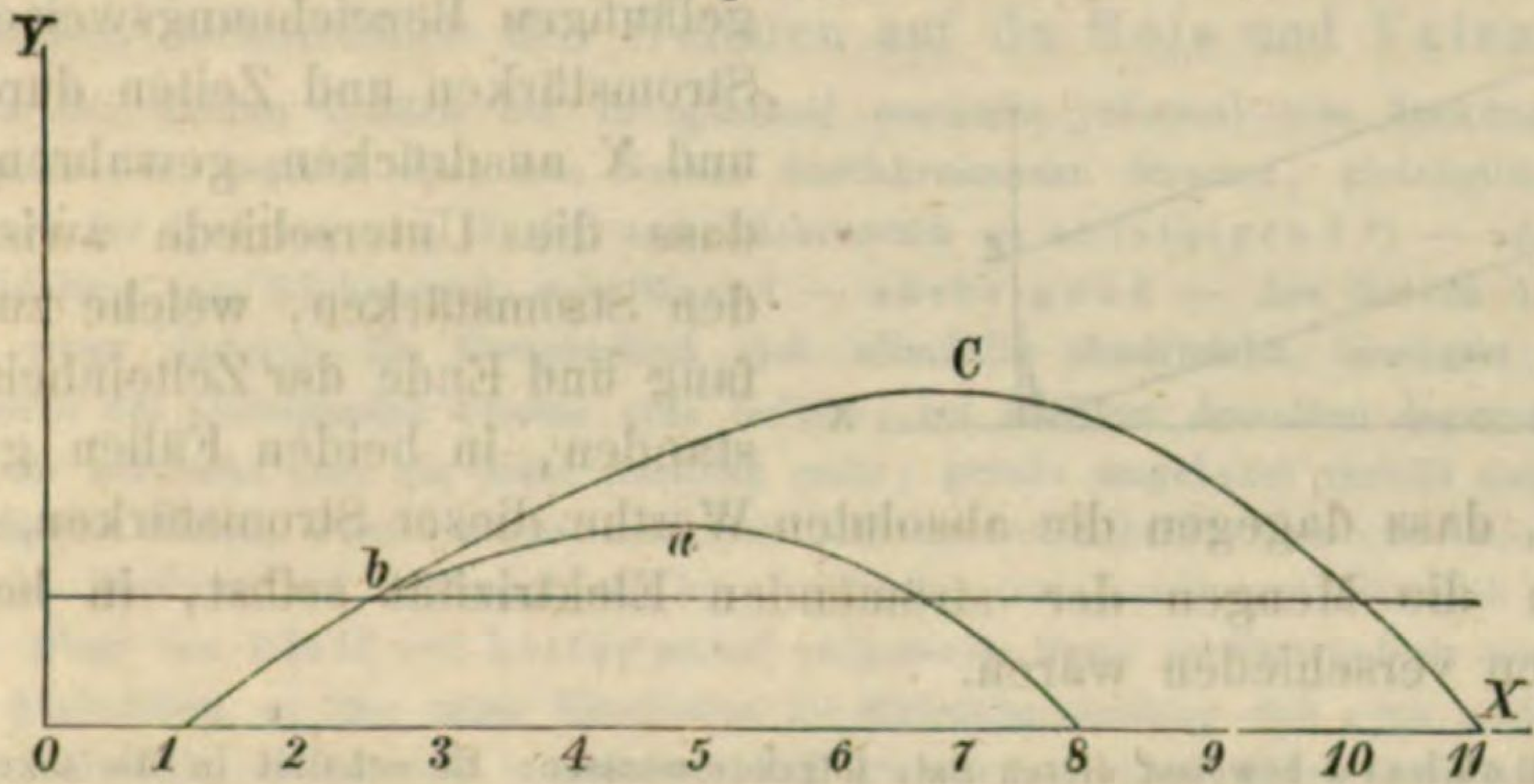
Zwischem dem Maximum der Zusammenziehung, das auf einen momentanen Schlag folgt, und demjenigen, welches ein Muskel überhaupt erfahren kann, ist wohl zu scheiden, denn es können zwei und mehrere von rasch aufeinanderfolgenden Schlägen den Muskel weiter zusammenziehen, als nur einer; wir werden also im Gegensatz zur Zuckung nach momentaner auch noch die nach doppelter, dreifacher u. s. w. Reizung hinzustellen haben. — Zuckung nach doppelter Reizung. Zwei Schläge, von denen jeder für sich das Maximum der Zuckung nach momentaner Reizung erzeugt, sind je nach der Zeit ihrer Aufeinanderfolge im Stande, sich rücksichtlich ihrer physiologischen Wirkung so zu verbinden, dass die aus beiden Schlägen resultirende Zuckung alle möglichen Werthe von dem einfachen bis zum doppelten des Maximums nach momentaner Reizung annehmen kann. Die ungemein merkwürdige Regel, welche Helmholtz *) aufgefunden hat, lautet: um das Maximum der Verkürzung zu finden, welches durch zwei aufeinanderfolgende Maximalschläge erreicht werden kann, addire man das Maximum der Verkürzung nach momentaner Reizung zu der Verkürzung, in welcher ein Muskel in Folge des ersten Schlages sich gerade dann befand, als er in Folge des zweiten Schlages sich zu contrahiren anfing. Die Regel verlangt folgenden graphischen Ausdruck. In Fig. 108 sei X das Maass der Zeit, y das der Verkürzung, die Curve, o, 1, a, 8 sei die, welche den zeitlichen Verlauf der Verkürzung **) nach einem

*) Berliner Monatsberichte. 1854. Juni.

**) Siehe über die Ausdrücke: zeitlicher Verlauf der Verkürzung oder Zuckung, latente Zuckung u. s. w. Nr. 4 auf einer der folgenden Seiten.

momentanen Maximalschlag darstellt. Zur Zeit *o* ist der Schlag geschehen, von *o* bis *1* war die Zuckung latent, bei *1* begann die Verkürzung u. s. f. Gesetzt, es sei nun der folgende Schlag zur Zeit *2* erfolgt, so würde bei *3* die Zuckung begonnen haben, und die verbundene Wirkung würde zur Zuckungscurve *1, b, c, 11* geführt haben.

Fig. 108.



Fast Null muss demnach die durch den zweiten Schlag bewirkte Vermehrung der ersten Zuckung werden, wenn beide Reize so rasch hintereinanderfallen, dass der Zeitraum latenter Zuckung des zweiten Schlages gerade vorüber ist, wenn die Zusammenziehung in Folge des ersten Schlages so eben begonnen hat. Der Zeitunterschied zwischen dem Einfall beider Schläge muss nach Helmholtz in diesem Fall weniger als $^1/_{600}$ Sekunde betragen. — Ebenso ist es leicht abzuleiten, wenn zwei Schläge sich zum doppelten Maximum des einfachen verstärken werden u. s. w.

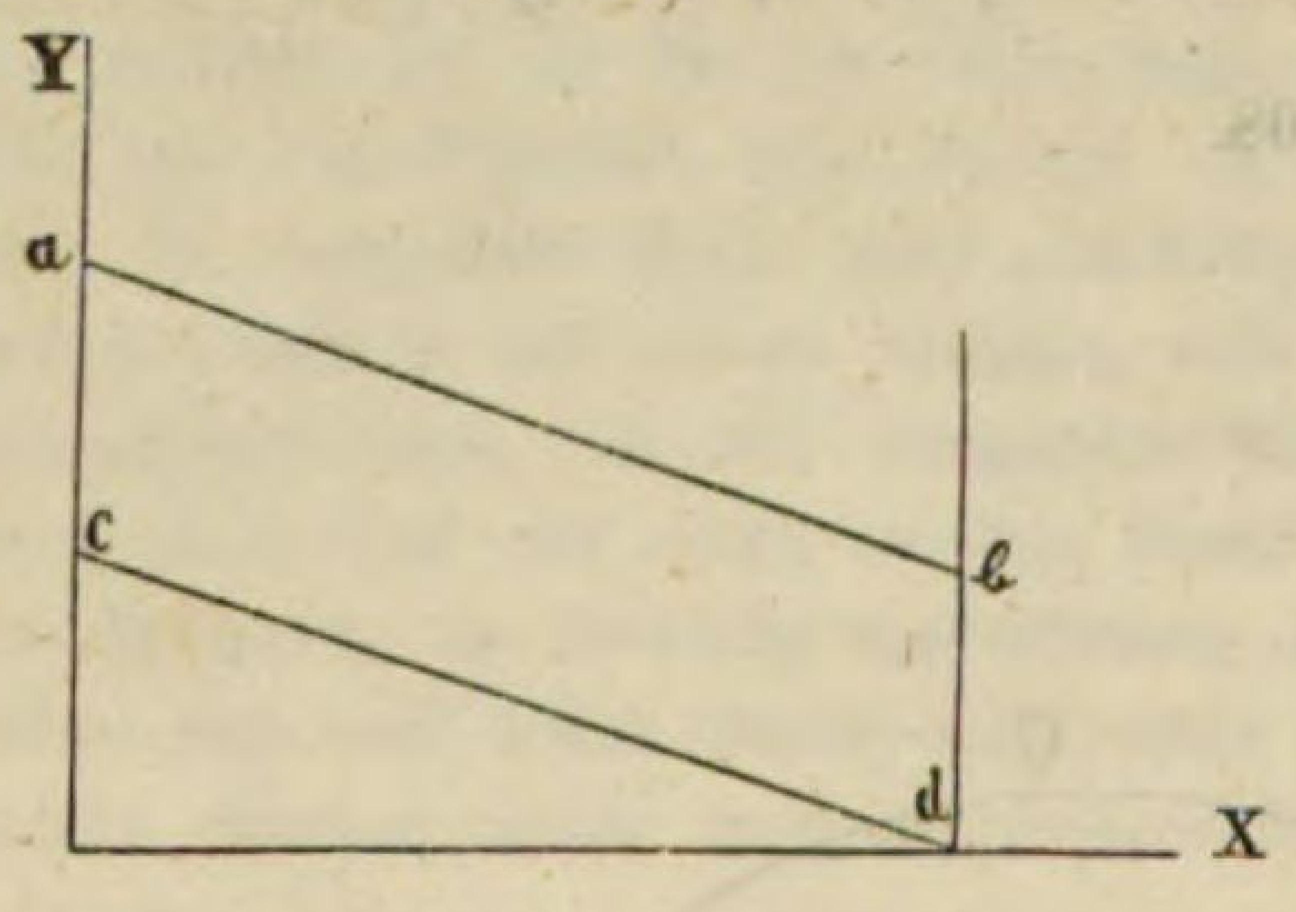
Sind dagegen zwei momentane Schläge hintereinander hergegangen, von denen keiner für sich das Maximum der momentanen Reizung hervorbringt, so verstärken sich ihre Wirkungen auch bei der kleinsten Zwischenzeit. Folgen endlich einander mehr als zwei Maximalschläge, so können sich auch diese noch verstärken, vorausgesetzt, dass der Muskel noch nicht bis zu dem Grad verkürzt ist, auf den er überhaupt der Natur seines Gewebes nach verkürzt werden kann.

Die Grösse der Verkürzung nimmt ferner bei gleicher Schwankung des Stromes mit dem absoluten Werth der Stromstärken, zwischen denen die Schwankung vor sich geht, ab (du Bois, Eckhard *)). Diesen Satz kann man auch so aussprechen, dass von zwei Strömen, die mit gleicher Steilheit der Dichtigkeitscurve ungleiche Mengen von Elektrizität durch den Nerven führen,

*) Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Giessen 1855. p. 28.

der am stärksten erregt, welcher die geringste Menge von Elektrizität bewegt; graphisch ausgedrückt wird also die durch die Curve *ab* Fig. 109 dargestellte Schwankung eine geringere Wirkung ausüben, als die der Curve *cd* entsprechende. Indem wir nämlich auch hier nach der uns schon geläufigen Bezeichnungsweise die Stromstärken und Zeiten durch *Y* und *X* ausdrücken, gewahren wir, dass die Unterschiede zwischen den Stromstärken, welche zu Anfang und Ende der Zeiteinheit bestanden, in beiden Fällen gleich sind, dass dagegen die absoluten Werthe dieser Stromstärken, also auch die Mengen der strömenden Elektrizität selbst, in beiden Fällen verschieden waren.

Fig. 109.



Eckhard beweisst diesen Satz folgendermaassen: Er schaltet in die sekundäre Rolle einer Inductionsspirale zwei gleich starke Säulen ein und zwar so, dass in entgegengesetzter Richtung ihren Strom aussenden. Ausserdem legt er in den Kreis den Nerven des Froschschenkels. In diesem Fall geht von den Säulen aus kein Strom durch den Nerven. Wenn er nun in der sekundären Rolle einen Strom induzirt, so zuckt der Schenkel sehr beträchtlich. Darauf ordnet er die Säulen so an, dass die Elektrizität von beiden in gleicher Richtung strömt, und lässt nun wiederum den Inductionsschlag, der ebenfalls dem Säulenstrom gleich gerichtet wurde, durch den Nerven fahren. Unter diesen letzteren Bedingungen durchkreist zu allen Zeiten den Nerven ein Strom. Die Dichtigkeitsschwankung geht also über einer constanten Ordinate (von den Höhen des Säulenstroms) vor sich; hierbei zuckt der Schenkel durch einen dem ersten gleichen Inductionsschlag nur unbedeutend.

Hier dürfte es Angesichts häufiger Missverständnisse am Ort sein, auf die praktische wichtige Folgerung der bis dahin vorgetragenen Regeln aufmerksam zu machen. Wenn man nämlich kräftig und anhaltend erregen will, so muss man Ströme wählen, die möglichst wenig Elektrizität von möglichst variabler Dichtigkeit durch den Nerven führen. Denn die Dichtigkeitsschwankung ist als das Erregende das gewünschte Element des Stromes, während die dabei verbrauchte Elektrizitätsmenge nur als schädliches Beiwerk auftritt, da sie durch Elektrolyse den Nerven zerstört und da die Zersetzung proportional mit der Menge der durchgeleiteten Elektrizität wächst, so folgt daraus die Regel, möglichst wenig davon in Anwendung zu bringen. Aus diesem Grund sind Inductionsmaschinen so werthvoll für den Praktiker.

Die Richtung des Stroms ist für seine Fähigkeit zu erregen nicht gleichgiltig; die Beziehungen, die zwischen beiden Eigenschaften des Stroms bestehen, treten jedoch nicht immer klar hervor; vorzugsweise scheinen nur absterbende Nerven die Richtung des Stromes unterscheiden zu können. Wir geben die Thatsachen, welche als Pfaff's oder Ritter's Gesetz der Zuckungen bekannt sind, und verweisen rücksichtlich des Weiteren auf du Bois und Valentin.

In den höhern Graden der Erregbarkeit erscheint jedesmal eine Zuckung bei Schliessen oder Oeffnen eines den Nerven durchkreisenden Stromes, gleichgiltig ob dieser in der Richtung vom Muskel zum Rückenmark — aufsteigend *) — oder in der Richtung vom Rückenmark zum Muskel — absteigend — den Nerven durchfloss; wenn dagegen die Erregbarkeit sich allmählig abschwächt, erscheint beim Schliessen des absteigenden Stroms eine heftige, bei Eröffnen desselben dagegen nur eine sehr schwache oder gar keine Zuckung mehr; gerade umgekehrt verhält sich der aufsteigende Strom; beim Schluss desselben tritt entweder keine oder nur eine sehr schwache Zuckung auf, während sie bei Eröffnung desselben ausserordentlich stark wird. Diese von Pfaff und Ritter zuerst aufgestellte Regel erleidet jedoch mannigfache Ausnahmen, so dass unter Umständen die Strömungsrichtung sich zwar noch von Einfluss erweist, aber gerade umgekehrte Erfolge erzeugt. Eine dieser Umkehrungen des Gesetzes der Zuckungen findet sich normal nach Longet's und Matteucci's Erfahrungen an den vordern Wurzeln des Rückenmarksnerven; wenn man auf diese, statt auf den Nervenstamm nach seinem Austritt aus dem Rückenmarkskanal, verschiedene Strömungsrichtungen wirken lässt, so erscheint, unter der Bedingung eines niederen Grades der Erregbarkeit, mit der Schliessung des aufsteigenden Stroms und der Oeffnung der absteigenden Zuckung, während sie bei der Oeffnung des aufsteigenden und der Schliessung des absteigenden ausbleibt.

Die verschiedenen Orte eines und desselben Stromkreises erregen einen schon geschwächten Muskel nicht gleich stark; so bildet sich namentlich am Zinkpol eine stärkere Zusammenziehung, als am Platinpol (Vulpian **)); vielleicht wäre hier an die elektrolytischen Producte zu denken, die mit dem Stromort auch veränderlich sind.

Der Winkel, unter welchem der erregende elektrische Strom die Längenachse des Nerven durchsetzt, ist von nicht minderer Bedeutung für den Umfang der Verkürzung; durchdringt er den Nerven rechtwinklig, so bleibt er vollkommen wirkungslos. Seine volle Wirkung entfaltet er nur dann, wenn er den Nerven nach der Längenachse desselben durchfliesst (Galvani).

*) In gebräuchlicher Weise verstehen wir auch hier unter Stromesrichtung die des positiven Stromes, welcher durch die Flüssigkeit der Kette in der Richtung von dem positiven zum negativen Metall geht.

**) Gazette medicale 1857. 618.

Die einfachste und sicherste Methode zur Darstellung dieser Thatsache ist die, den Nerven mit einem wohl befeuchteten leinenen Faden, der von einem Strom durchzogen wird, in Verbindung zu bringen und zwar bald in der Art, dass man den Nerven senkrecht auf die Richtung des Fadens legt, bald ihn der Länge nach an ihn anschmiegt.

Endlich übt die Länge des Nervenstücks, welche zwischen die Pole der erregenden Säule gefasst wird, einen Einfluss auf die Stärke der Zuckung; im Allgemeinen wächst mit der Verlängerung des eingeschalteten Nervenstückes der Werth der Verkürzung (du Bois). —

b) Genau dieselben Mittel, welche den Nerven in die zuckungserregende Beschaffenheit versetzen, bringen die Zuckung auch hervor, wenn sie direkt mit den Muskeln in Berührung kommen. Die Uebereinstimmung ist, so weit unsere Kenntnisse reichen, vollkommen genau, so dass alles hier und dort gleichmässig gilt. Ein merklicher Unterschied besteht nur darin, dass der gleichstarke elektrische Reiz vom Nerven aus kräftiger wirkt, als der den Muskel direkt ergreifende (Rosenthal*)), die chemischen Erreger auf den Muskel unmittelbar angewendet kräftiger, als durch den Nerven wirken sollen und das Drücke, die auf den Muskel direkt wirken, eine vorzugsweise örtliche, der Ausbreitung des Druckes**) entsprechende Zusammenziehung erzeugen. — Bei dieser Bewandtniss lag es nahe zu vermuthen, dass der Muskel überhaupt nur durch den Nerv hindurch zur Zusammenziehung angeregt werde, indem man annahm, dass auch die in den Muskel direkt eindringenden Einflüsse zunächst auf die in ihm enthaltenen Nerven wirkten. Wir werden diese Controverse erst an einem späteren Ort aufnehmen.

2. Muskelerregbarkeit. Wir wenden uns zu der zweiten Reihe von Bedingungen, mit denen der Werth der Verkürzung des Muskels veränderlich ist; nämlich zu der Variation der inneren Zustände des Muskels. — Leider ist dieser schwierige, aber unendlich wichtige Theil unseres Gegenstandes noch sehr wenig und da auch noch meist sehr mangelhaft in Angriff genommen. Da nun also die Veränderlichkeit, welche in den Werth der Zuckung durch den jeweiligen Muskelzustand eingeführt wird, nur in ganz wenigen Fällen auf einen ihrer wahren Gründe zurückgeführt ist, und dieses

*) Moleschott, Untersuchungen zur Naturlehre. II. 185.
**) Schiff in Moleschott, Untersuchungen zur Naturlehre. I. 84.

in dem einzelnen Versuch fast niemals geschehen kann und man doch ein Wort zum Verständniss braucht, welches diese Veränderlichkeit andeutet, so hat man sich die harmlosen Ausdrücke, Erregbarkeit, Leistungsfähigkeit gebildet, welche, ohne auf den Grund der Erscheinung einzugehen, die einfache Thatsache aussprechen, dass der Grad der Zusammenziehung eines Muskels auch noch von etwas anderem, als dem besonderem Auftreten der Erreger abhängig sei.

Das Wort Erregbarkeit bezieht sich im Allgemeinen auf die Veränderlichkeit der Muskelsubstanz, während die Leistungsfähigkeit hindeutet auf das Vermögen, Gewichte während einer gegebenen Zeit zu einer bestimmten Höhe zu heben.

a) Mit dem vermehrten Sauerstoffgehalt des Muskels steigt nach Humboldt und G. Liebig die durch denselben Erreger erzeugbare Verkürzung.

Die Beweise für diesen Satz liegen darin, dass ein im O-Gas aufgehängter Frosch-Schenkel schon durch ein Minimum von Anregung in ein Maximum der Verkürzung kommt (Humboldt). Noch schärfer sind die Thatsachen von G. Liebig, welcher in den oben beschriebenen Versuchen oft den Muskel, welcher in O haltendem Gase und einen anderen, der in N-Gas und H-Gas sich aufhielt, auf gleiche Weise erregte; hier ergab der in O haltendem Gas hängende Muskel immer kräftigere Bewegungen.

b) Die Gegenwart bestimmt zusammengesetzter Extractivstoffe übt einen Einfluss auf die Verkürzbarkeit; wir erschliessen dieses, weil auf die tetanische Zusammenziehung des Muskels eine auffallende Unfähigkeit zur Verkürzung folgt; der einzige nachweissliche Unterschied zwischen dem Muskel vor und nach dem Tetanus besteht nun aber darin, dass im letztern Zustand die Summe der wässrigen Extracte ab-, und die der weingeistigen zugenommen, ferner, dass die neutrale Reaction des Muskels in eine saure übergegangen ist, und dass wahrscheinlich die im Muskel enthaltene CO_2 sich gemehrt hat. — c) Je ausgesprochener der elektrische Gegensatz zwischen Oberfläche und dem von seiner parelectronomischen Schicht befreiten Querschnitt erscheint, um so verkürzbarer ist der Mnskel (du Bois). — d) Wenn ein Muskel auf irgend eine (durch elektrische Schläge, Erwärmung des Muskels auf 28 bis 30° C., zwölfstündige Ausspannung durch Gewichte), die materielle Structur nicht zu grob verletzende Weise seiner Leistungsfähigkeit so weit beraubt ist, dass er weder auf Schliessung oder Oeffnung einer Daniell'schen Batterie von 25 Elementen, noch auf die stärksten Schläge des Magnetelektromotor mit einer leisen Spur von Zuckungen antwortet:

so erlangt er seine Leistungsfähigkeit in geringerem oder grösserem Maasse wieder, wenn er kürzere oder längere Zeit von dem Strome der obenbezeichneten Batterie in ab- oder aufsteigender Richtung durchflossen wurde (Heidenhain *)).

Zur nähern Bezeichnung dieser neuen, sehr merkwürdigen Beziehung zwischen der Erregbarkeit und dem elektrischen Strom heben wir aus der reichhaltigen Abhandlung von Heidenhain noch hervor. 1. Ein Muskel, der durch Zerrung abgestorben ist, zeigt die beschriebene Erscheinung am deutlichsten; an ihm sind die folgenden Sätze ermittelt. — 2. Die Grösse der wiederhergestellten Erregbarkeit wächst bis zu einem gewissen Grade mit der Dauer des durchgeleiteten constanten Stomes. — 3. Oeffnet man den Strom, nachdem er die Erregbarkeit wieder hergestellt, und lässt den Muskel darauf einige Zeit ausserhalb des Stromes verweilen, so verliert sich seine Zuckungsfähigkeit bald wieder. — 4. Die Erregbarkeit, die der Muskel ausserhalb des Stromes eingebüsst hat, kann er durch eine neue Einschaltung in den letzteren wieder erlangen. Ein solcher Wechsel lässt sich bis zur vollendeten Todtenstarre an demselben Muskel mit gleichem Erfolg öfter wiederholen; es nimmt jedoch mit der Versuchsdauer die wiederherstellende Kraft des Stromes ab. — 5. Der aufsteigende Strom bringt die Erregbarkeit rascher, in stärkerem Grade und für längere Zeit wieder, als der absteigende. — 6. Die wiederhergestellte Erregbarkeit zeigt die Eigenthümlichkeit, dass sie nicht jede Stromesschwankung mit einer Zuckung beantwortet; im günstigsten Fall zuckt der Muskel nur bei der Oeffnung des bis dahin durchgeleiteten oder der Schliessung des entgegengesetzten Stroms.

e) Die Bedeutung des Wärmegrades für die Muskelerregbarkeit ist schon vorhin gewürdigt. — f) Alles Uebrige gleichgesetzt, ist die Muskelmasse der Frösche erregbarer, welche im Licht aufbewahrt wurden, als die der dunkel aufgehobenen. Dieses Resultat ist bestätigt durch die Intensität des ruhenden Muskelstroms, die Grösse der elektronegativen Schwankung und die Befähigung durch Reize, die den Muskel selbst angriffen, verkürzt zu werden (Moleschott und Marme **)). — g) Die Leistungsfähigkeit eines Muskels nimmt ferner, wie Jedermann bekannt, mit der Grösse und der Dauer der unternommenen Anstrengung ab; diese besondere Veränderung der Leistungsfähigkeit belegt man mit dem Namen der Ermüdung. Wie demnächst bewiessen wird, ermüdet die Zusammenziehung den Muskel darum, weil sie die chemische Beschaffenheit umgestaltet. Man sollte darum auf den ersten Blick denken, dass es sinnvoll wäre, die Ermüdung als eine Funktion der nach Zeit und Intensität variirten Zusammenziehung aufzufassen, um aus dem Werth der Ermüdung abzuleiten, wie mit der Zusammenziehung

*) Physiologische Studien. Berlin 1856. p. 57.
**) Untersuchungen zur Naturlehre von Moleschott. I. 15.

die chemische Umwandlung der Muskelsubstanz wachse und falle. Diese Hoffnung verwirklicht sich aber in nur sehr untergeordneter Weise, da es sich herausstellt, dass die durch die Zusammenziehung eingeleiteten Veränderungen nicht die einzigen sind, welchen der Muskel ausgesetzt ist. Namentlich aber ergibt eine genauere Ueberlegung, dass die in der Ermüdung zum Vorschein kommende Leistungsfähigkeit resultirt aus gleichzeitig vorhandenen erhaltenden und vernichtenden Einflüssen.

Zu allen Zeiten und insbesondere auch in der Zeit der Zusammenziehung wirken sich in Muskeln Umstände entgegen, von denen die einen eine erhaltende und die andern eine zerstörende Resultirende erzeugen; die ersten dieser beiden, die erhaltenden Einflüsse, wirken in dem Muskel, welcher sich noch mit dem lebendigen Blutstrom in Berührung befindet, kräftiger, als in dem ausgeschnittenen. Dieses geht schon daraus hervor, dass der ausgeschnittene Muskel durch viel geringere Anstrengung ermüdet, als der noch im lebenden Thiere befindliche; sie fehlen jedoch auch dort nicht, da erwiesener Maassen ein ausgeschnittener Muskel, der durch eine vorhergehende Anstrengung seine Zusammenziehungsfähigkeit gänzlich verloren hatte, sie nach einiger Zeit der Ruhe wieder gewinnt. Diese erhaltenden Einflüsse sind wahrscheinlich dargestellt durch das Blut und die Muskelflüssigkeit, welche, obwohl sie ebenfalls aus dem Blute stammt, doch insofern neben ihm selbstständig steht, als sie unabhängig von demselben sich in ihrer Zusammensetzung ändert. Die Betheiligung des Bluts zeigt sich eben darin, dass ein unversehrter, von normalem Blut durchströmter Muskel später in die Ermüdung tritt; ferner darin, dass mit der steigenden Muskelanstrengung der Verbrauch des Bluts wächst, und endlich, dass man im Blute die Reste der umgesetzten Muskelstoffe findet. — Auf die erhaltenden Wirkungen der Muskelflüssigkeit schliessen wir aber aus der Art und Weise, wie sich der ausgeschnittene Muskel wieder erholt. Diese Wiederherstellung geschieht nämlich nur in engen Grenzen, indem der zum ersten Mal vollkommen erschöpfte Muskel sich nur zu einem geringern Grad von Leistungsfähigkeit erhebt; wird diese noch einmal durch anhaltende Zusammenziehung vernichtet, so erholt sich der Muskel zwar noch einmal, aber wiederum in geringerem Maasse und sofort, bis sich endlich überhaupt die Erholungsfähigkeit abschliesst; die ganze Erscheinung bietet sonach das Aussehen, als ob die Wiederherstellung aus einem sich verbrauchenden Vorrath von Ernährungsflüssigkeit geschehe. — Wie nun schon aus dem bisherigen hervorgeht, muss die Bedeutung dieser erhaltenden Einflüsse mit den Umständen sich sehr ändern, eine Ableitung, welche die Erfahrung vollauf bestätigt, da auch ein und derselbe Muskel innerhalb des Thierkörpers, oder die gleichnamigen ausgeschnittenen Muskeln möglichst gleichartiger Thiere durch dieselbe Anstrengung auf ganz verschiedene Weise erschöpft werden. —

Wollte man demgemäss in der oben bezeichneten Absicht die Ermüdung, d. h. den vernichtenden Einfluss der Muskelzusammenziehung studiren, so müsste man entweder die Erholung ganz zum Verschwinden bringen, oder sie wenigstens beim Wechsel der ermüdenden Bedingungen gleich erhalten. Diese schwierige Aufgabe hat

man nun bis dahin nicht zu lösen vermocht; es ist somit Ermüdung im gewöhnlichen Sinne als der Zustand zu nehmen, welcher resultirt aus beiden Einflüssen. Bei der wahrscheinlichen Zusammengesetztheit der Wirkungen eines jeden derselben können natürlich die resultirenden Prozesse eine unsägliche Mannigfaltigkeit besitzen. Siehe hierüber noch die Verkürzung des Muskels während einer Belastung.

3. Form des verkürzten Muskels. Grösse der Verkürzung. Die bei der Zusammenziehung stattfindenden sichtbaren Vorgänge bestehen darin, dass die während der Ruhe im Zickzack gebogenen oder geschlängelten Muskelröhren sich unter Verminderung ihrer Länge und Vergrösserung ihres Querschnittes gerade strecken; zugleich erscheinen die Querstreifen schärfer und deutlicher, indem sie näher aneinander rücken (Ed. Weber), wobei sich die doppelbrechenden Scheiben verkürzen (Brücke). — Um welchen Proportionaltheil der ursprünglichen Länge sich der Muskel verkürzt, hängt von Umständen ab, die wir theils schon kennen lernten, theils noch kennen lernen werden; das von Ed. Weber unter den günstigsten Bedingungen beobachtete Maximum betrug $^5/_6$ der Länge des ruhigen Muskels. Hierbei verbreitert der Muskel nicht genau seinen Querschnitt um eben so viel, als seine Länge abnimmt, so dass eine unbeträchtliche Volumänderung und zwar eine Raumverkleinerung eintritt; bei der Umlegung der einen in die andere Form verdichtet sich also der Muskel um ein Geringes (Erman). —

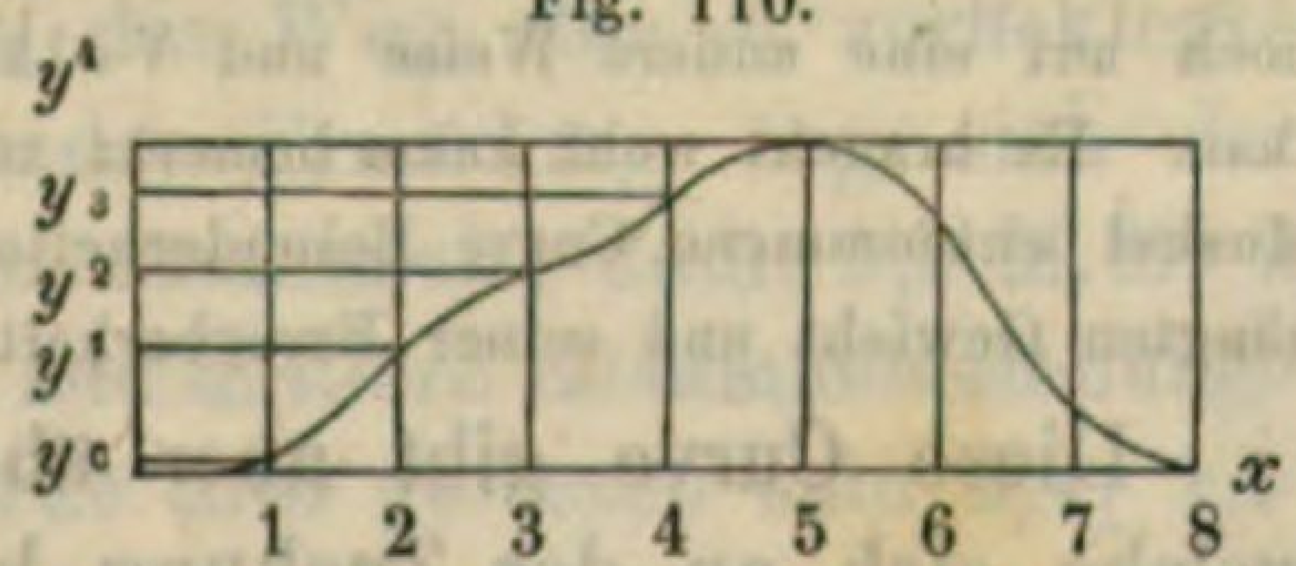
Die mikroskopische Beobachtung des sich verkürzenden Muskels geschieht nach Ed. Weber am besten, wenn man mit einem sehr dünnen Muskel eines Frosches die Enden eines elektrischen Inductionsapparates überbrückt, welche in das Objektivglas eingelassen sind. Während der Beobachtung setzt man den Muskel in tetanische Erregung. —

Zur Bestimmung der Muskelverdichtung dient ein geschlossenes mit Flüssigkeit gefülltes Gefäss, in das die Enden eines Induktionsapparates geleitet sind, und das nach oben in ein feines, zum Theil mit Flüssigkeit gefülltes Röhrchen ausläuft. Wenn man nun den Muskel auf die Enden des Induktionsapparates in der Flüssigkeit legt und durch denselben den Muskel in Zusammenziehung bringt, so kann man aus dem Sinken und Steigen des Flüssigkeitsstandes im Röhrchen ersehen, ob Volumveränderungen des Muskels eintreten. Bei Anstellung des Versuchs ist begreiflich nöthig, die Anwesenheit von Luftblasen in den Blutgefässen des Muskels zu vermeiden, und zweckmässig als Flüssigkeit statt des Wassers Milch, Blutserum und ähnliche Stoffe zu wählen, weil in diesen der Muskel längere Zeit seine Lebenseigenschaften erhält.

4. **Zeitlicher Verlauf der Zusammenziehung** *). Wenn ein Erreger auf den Muskel wirkt, so beginnt nicht augenblicklich mit, sondern erst eine kurze Zeit nach dem Eintritt desselben die Verkürzung; hieraus folgt, dass wenn ein Erreger während einer verschwindend kleinen Zeit den Muskel trifft, der letztere seine Zusammenziehung erst beginnt nach der Entfernung des ersteren; so z. B. wenn in den Muskel ein elektrischer Funke einschlägt (Helmholtz). Die Zeit, welche zwischen dem Reiz und der eintretenden Verkürzung liegt, bezeichnet man als die der latenten Zuckung, oder latenten Reizung. Hat aber die Bewegung des Muskels begonnen, so verkürzt er sich zuerst mit beschleunigter und dann abnehmender Geschwindigkeit und erreicht dabei ein bestimmtes Maximum der Verkürzung; von hier ab verlängert sich nun der Muskel und zwar mit allmählig steigender Beschleunigung. Zwischen den Zeiten des Auf- und Absteigens scheint kein bestimmtes Verhältniss zu bestehen. Die ganze Zeit, welche verwendet wird zur Vollendung eines solchen Ganges, wächst im Allgemeinen mit der Grösse der Verkürzung (Ed. Weber, Helmholtz), mit der Schwere des zu hebenden Gewichtes und mit der abnehmenden Leistungsfähigkeit des Muskels (Helmholtz).

Die zeitlichen Beziehungen, welche zwischen dem Eintritt des zuckungerregenden Einflusses dem Beginne und Maximum der Verkürzung und der Wiederherstellung des verlängerten Zustandes stattfinden, sind beispielsweise in Fig. 110 ausgedrückt. — In dieser Curve bedeuten die Höhen, welche auf der Ordinate y verzeichnet sind, die absoluten Werthe der Verkürzung, welche eintreten, als ein momentaner elektrischer Schlag den Muskel traf; die auf der Abszisse x gleichweit von einander abstehenden Zahlen 0, 1, 2, 3, 4, ... 8 drücken die Zeiten aus, welche verbraucht wurden, um den Muskel in den jeweiligen Zustand der Verkürzung zu bringen. Die gleichen Zwischenräume zwischen je zwei aufeinander folgenden Zahlen entsprechen einer Zeit von 0,025 Secunden; während der elektrische Schlag, welcher zur Zeit

Fig. 110.



*) Helmholtz, Ueber den zeitlichen Verlauf u. s. w. Müller's Archiv 1850. 276. Messungen über Fortpflanzungsgeschwindigkeit u. s. w. ibid. 1852. 199. — Volkmann, Ueber das Zustandekommen der Muskelcontraktion. Leipziger Berichte. Mathemat. physische Classe 1851. 2. Ueber die Kraft u. s. w. ibid. 1851. 54.

0 den Muskel traf, bei weitem noch nicht 0,0015 Sec. anhielt. Demgemäss kann die Dauer des elektrischen Schlags als verschwindend klein gegen den ganzen von 0 bis 8 betragenden Zeitraum angesehen werden. Betrachten wir nun die Curve genauer, so ergibt sich, dass ungefähr 0,02 Sec. nach Anwendung des momentan dauernden Erregers verstrichen, bevor der Muskel sich zu verkürzen anfing; dass dann vom Beginn der Zuckung an sich der Muskel zuerst mit grösserer und dann mit geringerer Geschwindigkeit verkürzt, wie dieses durch die in gleichen Zeiten immer kleiner werdenden Steighöhen $y^0\, y^1$, $y^1\, y^2$ u. s. w. ausgedrückt wird, und umgekehrt, dass der Muskel sich zuerst langsamer und dann rascher und rascher verlängert. Die ganze Zeit, in der vom Beginn der Verkürzung an der Muskel das Maximum derselben erreichte, betrug 0,180 Sec. und diejenige, welche zur Einkehr in seine alte Lage nothwendig war, 0,105 Sec.

Die mitgetheilte Curve hat Helmholtz unmittelbar durch den Froschmuskel zeichnen lassen; es geschah dieses nach den Grundsätzen des graphischen Verfahrens von Watt. Der Muskel wurde nämlich an seinem oberen Ende befestigt aufgehängt, an dem untern Ende wurde mittelst einer Klemme ein Schreibstift angebracht, welches ganz sanft gegen einen berussten, ebenfalls vertikal stehenden Cylinder anlag; der Cylinder wurde dann mit gleichmässiger Geschwindigkeit bewegt, so dass fortlaufend andere Punkte desselben mit dem Stift in Berührung kamen; war der Muskel in seiner normalen Länge, so beschrieb er beim Umgang des Cylinders auf diesen die Linie x (unserer Abszisse). Verkürzte er sich aber, so erhob sich der Stift und zeichnete eine Linie, welche den zeitlichen Gang und den Grad der Verkürzung darstellte. Ueber das Genauere dieser feinen Versuche siehe Helmholtz.

Die Richtigkeit und Allgemeingültigkeit des Verlaufs der Curve hat Helmholtz noch auf eine andere Weise und Volkmann durch ein ähnliches Verfahren dargethan. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass dagegen jede von einem andern Muskel entnommene Curve Besonderheiten zeigen wird, entsprechend dem ihm angehängten Gewicht und seiner Erregbarkeit.

Diese Curve gibt aber über einige Eigenschaften der Kräfte, welche sich an der Zuckung betheiligen, noch sehr merkwürdige Aufschlüsse; zuerst legt sie dar, dass während derselben verlängernde oder verkürzende Kräfte wirksam sind, denn ohne diese wäre das Auf- und Absteigen der Curve nicht möglich. In Anbetracht, dass bei der Untersuchung von Helmholtz der senkrecht aufgehängte Muskel mit einem Federhalter beschwert war, also bei der Verkürzung neben seiner eignen auch noch die Schwere des angehängten Gewichtes zu überwinden hat, könnte man meinen, die Verlängerung sei nur eine Folge der Schwere. Volkmann zeigt aber, dass ein horizontal gelegter Muskel sich nach derselben Regel

verkürzt und verlängert, dass der ermüdete Muskel langsamer steigt und fällt, als der rüstige, und endlich dass die Zeit des Absteigens viel zu gross ist, um sich während ihr nur die Beschleunigung durch die Schwere wirksam zu denken. — Aber was noch viel belangreicher ist, die Curve zeigt, dass sich der Muskel nicht in Folge eines momentanen Anstosses, der am Ende der latenten Zuckung erscheint, verkürzte; denn dann müsste die Curve eine Parabel sein, die durch das Zusammenwirken der genannten Momentankraft und der dauernd wirkenden, verlängernden entstanden wäre. Statt der Parabel tritt nun in Wirklichkeit eine Curve zum Vorschein, die wechselnd bald die Convexität (zwischen 1 und 2 und zwischen 3 und 4) und bald die Concavität zur Abszisse kehrt (zwischen 2 und 3 und zwischen 4 und 5). Da nun in den erstern Stücken die in der Richtung der Verkürzung liegende Geschwindigkeit rascher als die Zeit wächst, in den letztern aber mit der steigenden Zeit abnimmt, so muss nicht allein während der ganzen Dauer der Verkürzung eine Kraft wirksam sein, welche den Muskeltheilchen in der Verkürzungsrichtung Stösse ertheilt, sondern es müssen auch diese Stösse den entgegengesetzt gerichteteten bald über- und bald unterlegen sein, da ja die verkürzende Resultirende bald an Geschwindigkeit zu-, bald daran abnimmt.

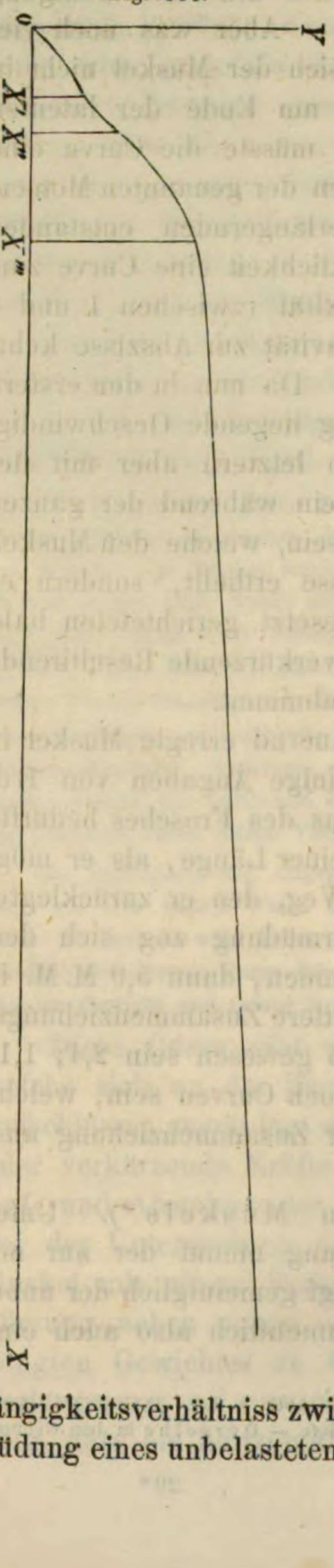
Ueber die Wegstrecke, welche der dauernd erregte Muskel in der Zeiteinheit zurücklegt, besitzen wir einige Angaben von Ed. Weber. Der ausgeschnittene m. hyoglossus des Frosches bedurfte zur Zusammenziehung auf das Minimum seiner Länge, als er möglichst unermüdet war, 9,2 Secunden, der Weg, den er zurücklegte, betrug 22,4 M. M.; mit fortschreitender Ermüdung zog sich derselbe Muskel um 7,9 M.M. in 7 Sec. zusammen, dann 5,9 M.M. in 9 Sec., endlich 4,9 M.M. in 9 Sec. Die mittlere Zusammenziehungsgeschwindigkeit in der Secunde würde also gewesen sein 2,4; 1,1; 0,6; 0,5 M.M. Wünschenswerth würden noch Curven sein, welche die Geschwindigkeitsänderung während der Zusammenziehung ausdrückten.

5. Hubfähigkeit des verkürzten Muskels *). Unter dem Antrieb einer dauernden Maximalreizung nimmt der nur mit seinem eignen Gewichte beschwerte, man sagt gemeiniglich der unbelastete Muskel eine bestimmte Form und namentlich also auch eine

*) Ed. Weber, Handwörterbuch der Physiolog. III. Bd. 2. Abth. p. 1. — Derselbe, Leipziger Berichte. December 1856. — Volkmann, ibid. 1856. 1. Heft. — Derselbe in dem Geburtstagsprogramm v. Halle. 1856.

bestimmte Länge an. Diese Länge bezeichnete man als die natürliche des erregten Muskels. Diese Länge verändert, resp. vergrössert sich, wenn ein auch noch so kleines Gewicht an den zusammengezogenen Muskel gehängt wird (Schwann), oder der Muskel zieht sich nicht bis zur natürlichen Länge (zum Maximum der Verkürzung) zusammen, wenn er während der Reizung auch noch ein anderes Gewicht, als das seinige, zu heben hat.

Fig. 111.



Auf die theoretische und praktische Wichtigkeit der Längenveränderung mit dem Werthe des angehängten Gewichtes hat zuerst Ed. Weber in einer bedeutungsvollen Arbeit hingewiessen. Die auf diesem Gebiet gewonnenen Thatsachen, die zunächst mitzutheilen sind, beziehen sich auf den herausgeschnittenen m. hyoglossus vom Frosch, der durch Inductionsschläge, welche ihn der Länge nach durchfuhren, gereizt wurde, während er in freier Luft bei mittlerer Zimmertemperatur aufgehängt war.

Der gereizte Muskel zieht sich bei gleicher Belastung um so weniger zusammen, je längere Zeit er schon vorher sich im zusammengezogenen Zustand befunden hatte. Da in diesen Fällen kein Gewichts- und Reizungsunterschied besteht, so muss die Verlängerung, welche der Muskel während der Erregungsdauer erfährt, angesehen werden als eine Folge der veränderten inneren Zustände, sagen wir kurz der Ermüdung, und diese Ermüdung wird zu messen sein durch den Längenzuwachs, welchen in der Zeiteinheit der zusammengezogene Muskel während der Verkürzungsdauer erfährt. Wir sind durch Weber in den Stand gesetzt, für einen Fall das Abhängigkeitsverhältniss zwischen der Dauer der Anstrengung und der Ermüdung eines unbelasteten Muskels zu geben. Es ist in der Curve 111

dargestellt; in ihr bedeuten die x die Zeiten und die y die Ermüdungen; zur Verständigung über die Bedeutung der veränderlichen y diene noch, dass wir den Unterschied der Längen des ruhenden und des erregten Muskels im Beginn des Versuchs (also das Maximum der Verkürzung), oder die Grenzen, innerhalb deren die Ermüdung den Muskel verlängern kann, als die Gesammtheit der Ermüdung festgesetzt haben; die Länge, um welche der Muskel nach Verfluss einer bestimmten, vom Beginn der erreichten Maximalverkürzung an gerechneten Zeit zugenommen hat, ist also die zu dieser Zeit bestehende Ermüdung oder das in der Curve aufgetragene y. Die Curve lässt sich nun, wie man sieht, in mehrere Stücke zerlegen; in ein erstes von o bis x', in welchem sie direkt proportional mit der Zeit ansteigt, in ein zweites kürzeres von x' bis x'', wo die Ermüdung rascher als die Zeit wächst, in ein drittes von x'' bis x''', wo die Ermüdung zwar noch rasch, aber schon langsamer als die Zeit zunimmt, und endlich in ein viertes von x''' bis x, wo die Verlängerung langsamer als die Zeit fortschreitet.

In dem vorstehenden Versuch betrug die Reizungsdauer 465 Sec., der erste Zeitraum umfasste etwa 25'', der zweite 12'', der dritte 40'' und der letzte den Rest der Zeit. Drückt man die in der genannten Zeit eingetretene Ermüdung durch Bruchtheile der überhaupt möglichen aus, so betrug sie der Reihe nach 0,18; 0,13; 0,30; 0,30. Der Versuch war also nicht bis zur vollständigen Erschöpfung fortgeführt.

Das merkwürdige Ergebniss dieser Beobachtung zeigt unzweifelhaft, dass starke Verkürzungen rascher ermüden als geringe. Um aber auch die Beschleunigung der Ermüdung bei der im zweiten Stadium bestehenden geringeren Verkürzung zu erklären, muss man, wie es scheint, noch die Annahme zu Hilfe rufen, dass während der Verkürzung neben den Umständen, die eine Ermüdung erzeugen, auch noch solche bestehen, welche die schädlichen Wirkungen der Anstrengung ausgleichen. Nimmt man dieses an, so würde man sagen dürfen: im ersten Stadium war zwar die Anstrengung und aber auch die Wiederherstellung bedeutend; diese letztere hat dagegen im zweiten rascher abgenommen, als die erstere, so dass die Zerstörung des Muskels ein bedeutendes Uebergewicht gewinnen konnte.

Aehnliche Versuchsreihen mit verschiedenen Belastungen fehlen; wir müssen demnach gleich übergehen zu denen, in welchen die zuckenden Anstrengungen unterbrochen waren durch solche der Ruhe. Hier zeigt sich, dass der unbelastete Muskel in der zwischen zwei Erregungen gelegenen Zeit sich wieder erholt, denn der gereizte

Muskel hatte kurz vor Schluss der ersten Erregung eine grössere Länge, als beim Beginn der zweiten Reizung angenommen. In dem mitgetheilten Versuch von Ed. Weber wurde in jeder Reizungsperiode der Muskel fast bis oder bis zur vollkommenen Erschöpfung gebracht; die zwischen zwei solchen Perioden gelegene Zeit der Ruhe betrug von 40 bis 50 Minuten. Die Erholung wurde in jeder folgenden Pause geringer, als sie in der vorhergehenden gewesen war. Dieses drückt sich dadurch aus, dass sowohl das Maximum der Verkürzung, bis zu welchem der Muskel bei Beginn der Erregung gelangte, als auch die Zeit, welche zur vollen Erschöpfung des Muskels nöthig war, immer geringer wurde. Das Wachsthum der Ermüdung in der Zeit gestaltet sich aber in allen Reizungsperioden analog wie in Curve 111.

Ueber die Veränderungen, welche der wechselnd belastete zusammengezogene und unbelastet ruhende Muskel in der Zeit erfährt, sind wir nicht durch Versuche unterrichtet, da zu den hier einschlagenden Beobachtungen die Angaben der Anstrengungs- und Ruhezeiten fehlen. Aus einer Beobachtung von Volkmann geht aber jedenfalls hervor, dass in einer Ruhezeit, die auf einer mit Belastung geschehenen Verkürzung folgt, der Muskel sich wieder erholt. Denn wenn sich der Muskel unmittelbar, nachdem dieser ein Gewicht gehoben, unbelastet zum Maximum verkürzte, so stieg sein unteres Ende zu einer geringern Höhe, als wenn nach einer kurzen Zeit der Ruhe der Muskel von Neuem angesprochen wurde.

Sieht man aber ab von den Verkürzungszeiten, so gelten nach den vorliegenden Beobachtungen für die Hubfähigkeit noch folgende Regeln:

Weber hat zahlreiche Versuche angestellt, bei denen er den Muskel auf- und absteigend mit einer Reihe von Gewichten belastete, also mit 5, 10, 15, 20, 15, 10, 5 Gr.; jedesmal, während die Last an ihm hing, wurde er durch Inductionsschläge auf das Maximum der Verkürzung gebracht und die Länge gemessen. Aus diesen für die Theorie wichtig gewordenen Beobachtungen wählen wir die heraus, welche er selbst genauer diskutirt hat *). Die erste der Columnen in der folgenden Tabelle gibt die Gewichte, die zweite die zugehörigen Längen, die dritte den Längenunterschied für gleichen Gewichtsunterschied an; die erste Tabelle enthält eine Versuchsreihe, welche an dem eben ausgeschnittenen Muskel unter-

*) l. c. p. 75. Muskel C.

nommen wurde; die zweite dagegen wurde ausgeführt, als der Muskel schon viermal die Reihe der Gewichte auf- und absteigend getragen. Der unverkürzte ruhende Muskel war 43,0 M.M. lang; er wog 0,150 Gr.

Tabelle I.			Tabelle II.		
Gewicht in Gramme.	Länge des gereizten Muskels.	Längenunterschied der aufeinanderfolgenden Versuche.	Gewicht in Gramme.	Länge des gereizten Muskels.	Längenunterschied in zwei aufeinanderfolgenden Versuchen.
5	14,5		5	26,0	
10	15,9	+ 1,5	10	35,8	+ 9,8
15	17,2	+ 1,3	15	40,6	+ 4,8
20	19,0	+ 1,8	20	43,3	+ 2,7
25	21,8	+ 2,8	25	44,9	+ 1,6
30	27,2	+ 5,4	30	45,9	+ 1,0
25	26,7	— 0,5	25	45,4	— 0,5
20	25,2	— 1,5	20	45,8	+ 0,4
15	23,2	— 2,0	15	43,0	— 2,8
10	21,0	— 2,2	10	39,4	— 3,6
5	19,0	— 2,0	5	27,5	— 11,9

Die Zahlen der ersten Tabelle ergeben 1. die Länge nimmt in der aufsteigenden Gewichtsreihe mit jedem Gewichtszusatz von 5 Gr. zu, und in der absteigenden Reihe mit jedem Gewichtsverlust der Last ab; 2. die Länge, welche dem Muskel bei gleicher Belastung in der aufsteigenden Reihe zukommt, ist geringer als in der absteigenden; 3. der Längenunterschied für gleichen Belastungsunterschied wächst in der aufsteigenden Reihe mit dem absoluten Werth der Belastung, in der absteigenden verhält es sich gerade umgekehrt. — Aus der zweiten Tabelle, welche der ermüdete Muskel geliefert hat, ergibt sich 1. der Muskel ist bei gleicher Belastung viel länger als in der ersten Tabelle; 2. in der aufsteigenden Belastungsreihe ist bei gleichem Gewicht der Muskel kürzer als in der absteigenden; 3. der Längenunterschied nimmt in der auf- und absteigenden Reihe bei gleichem Gewichtszusatz mit der steigenden Belastung so rasch ab, dass bei den grösseren Gewichten die durch 5 Gr. erzeugte Verlängerung sehr wenig merklich ist. —

Belastet man einen der vollen Erschöpfung nahestehenden Muskel, so tritt nach seiner Erregung die sehr auffallende Erscheinung ein, dass er statt sich zu verkürzen, sich verlängert; diese Verlängerung ist jedoch eine unbedeutende (Ed. Weber).

Ein Muskel zieht sich bei gleicher Belastung um verschiedene Bruchtheile seiner Gesammtlänge zusammen, je nachdem das belastende Gewicht vor Beginn, während oder nach vollendeter Verkürzung an ihn gehängt wurde; der Reiz verkürzt ihn am wenigsten, wenn das Gewicht schon an den ruhenden Muskel, der also dann durch den Zug der Last über seine Normallänge ausgedehnt war, gehängt wurde. Der Muskel hebt aber dasselbe Gewicht schon höher, wenn man wie oben verfährt, dagegen die Dehnung des ruhenden Muskels durch eine das Gewicht tragende Stütze vermeidet. Zu noch grösserer Verkürzung gelangt der Muskel, wenn man ihm das Gewicht erst aufladt, nachdem er unbelastet zum Maximum der Verkürzung gekommen ist, so dass also das Gewicht den verkürzten Muskel wieder zu verlängern hat. An noch höherer Stelle wird endlich das Gewicht festgehalten, wenn man dasselbe gerade zu der Zeit dem in Verkürzung begriffenen Muskel übergibt, in welcher er annähernd die Länge erreicht hat, auf die er bei der vorhergehenden Belastungsart ausgedehnt wurde. Von diesen Mittheilungen, welche wir Volkmann verdanken, bestreitet Ed. Weber den Unterschied des Verhaltens zwischen der ersten und dritten, er bestätigt dagegen den Unterschied zwischen der ersten und vierten Befestigungsweise des Gewichts. Den Einfluss der Belastungsart auf die Hubhöhe erläutert Volkmann aus der während des Hebens eintretenden Ermüdung; in der That diejenige seiner Arten zu verfahren, welche die Zeit der Zusammenziehung und des Tragens auf ein Minimum herabdrückt, hebt das Gewicht am höchsten.

Die Gesammtheit der vorgeführten Thatsachen hat Weber zur Feststellung von zwei bemerkenswerthen Eigenschaften des Muskels benutzt, der Elastizität und des Nutzwerthes.

6. Elastizität des zusammengezogenen Muskels. Wenn sich der unbelastete Muskel unter einen dauernden Reiz zusammengezogen hat, so ist er nach Ed. Weber in eine neue Gleichgewichtslage eingekehrt, die wir im Gegensatz zu der des ruhenden Muskels die verkürzte Gestalt nennen. Diese letztere würde also zu bezeichnen sein als die Gestalt, welche der Muskel vermöge der Anziehungen und Abstossungen seiner Theilchen eingenommen hat, wenn diese durch den Reiz verändert waren.

Folgerecht würde also eine Betrachtung der Kräfte, welche nach Beginn und während der Reizung im Muskel thätig sind, zu unterscheiden haben eine, durch welche die Muskeltheilchen aus nur erregbaren in erregte umgewandelt würden, und eine zweite, durch welche die veränderten Muskeltheilchen befähigt würden zur Aufrechterhaltung der verkürzten Form; kurzweg nennt Weber die erstere die verkürzende und die andere die elastische Kraft des erregten Muskels. Indem man hierzu einstimmt, muss man aber stets in Gedanken festhalten, dass die elastischen Kräfte des verkürzten Muskels nicht wie im ruhenden statische sind. Im Gegentheil es muss zur Erhaltung der verkürzten Form ebensowohl lebendige Kraft aufgewendet werden, wie sie zur Herbeiführung derselben nothwendig war, da ja zur dauernden Bewahrung der Form dasselbe nothwendig ist, was die Herstellung erforderte, nämlich Reizung. Ein Unterschied besteht zwischen beiden Stadien der Zusammenziehung nur darin, dass die im Muskel gethane Arbeit während der Verkürzung zum Theil wenigstens zur Herbeiführung der Formveränderung, nach Vollendung der letztern allein zur Formerhaltung verwendet wird; das Gleichgewicht des verkürzten Muskels ist also ein dynamisches, in welchem in jedem Augenblicke so viel lebendige Kraft verzehrt wird, als entwickelt wurde.

Die Messung der elastischen Kräfte hat nach dieser Unterstellung nichts verfängliches, aber sie hat ihre Schwierigkeiten, denn die Verlängerung, welche ein an den verkürzten Muskel gehängtes Gewicht hervorbringt, rührt nicht allein von der Schwere des letztern, sondern auch, wie wir schon sahen, davon her, dass der verkürzte Muskel in einer jeweiligen Gleichgewichtslage nur momentan verharrt, denn er ermüdet. Hätte sich also der unbelastete Muskel bis zur Länge α verkürzt und während der Belastung durch das Gewicht G nur bis zu α', so würde der Unterschied beider Längen $(\alpha' - \alpha)$ dem Gewicht und der Ermüdung zugleich zuzuschreiben sein. Um den ersten Einfluss zu sondern, musste man wissen, wie gross die Länge des unbelastet verkürzten Muskels zu der Zeit, resp. bei der Beschaffenheit gewesen sei, als er sich belastet zusammenzog. Diesen Aufschluss sucht Ed. Weber in sinnreicher Weise dadurch zu erhalten, dass er mehrere Belastungen rasch aufeinander folgen liess, bei denen der Muskel in auf- und absteigender Ordnung mit denselben, aber ungleich schweren Gewichten gedehnt wurde; jedes Gewicht verweilte nur etwa fünf Secunden lang, diess war auch die Reizungszeit, am Muskel; zwischen je zwei Erregungszeiten lag ungefähr eine gleich lange, aber nicht näher angegebene Zeit der Muskelruhe.

Ein solcher Versuch mit der zugehörigen Rechnung nimmt folgende Gestalt an. Der Muskel werde der Reihe nach belastet mit $ABCBA$, er nimmt dann nach der Reizung, entsprechend den Gewichten, die Längen $abc\mathfrak{a}\mathfrak{b}$ an. Das Mittel der Muskellängen bei gleicher Belastung, also das aus dem ersten und letzten und ebenso aus dem zweiten und vierten Versuch $\left(\frac{a + \mathfrak{a}}{2} = \alpha \text{ und } \frac{b + \mathfrak{b}}{2} = \beta\right)$ wird eine

mit C vergleichbare Länge geben, wenn wir annehmen, dass der Unterschied der Ermüdung von einem zum andern Versuch gleichgeblieben, also die Curve der Ermüdung eine gerade aufsteigende Linie sei; denn dann würde die Ermüdung des dritten Versuches um gerade soviel die des ersten übertroffen haben, als sie von der des fünften übertroffen wurde; dasselbe gilt für die zweite und vierte Beobachtung. Also kann das Mittel aus je zwei zugehörigen Versuchen verglichen werden mit dem dritten, oder es würden α und β diejenigen Längen darstellen, welche der Muskel erreicht haben würde, wenn er im dritten Versuch statt mit C mit A oder B belastet worden wäre. Hieraus lässt sich der Längenzuwachs berechnen, den die Gewichtseinheit erzeugt hatte, und dieses sowohl bei gleicher Ermüdung für verschiedene, als auch bei verschiedener Ermüdung für gleiche Belastung. Der Vergleichbarkeit verschiedener Beobachtungen wegen drückt man den Längenzuwachs in Bruchtheilen des dem Versuch unterworfenen Muskels aus. Da Weber bei dieser Berechnung nicht, wie man es sonst that, Grenz-, sondern immer Mittelzahlen wählt, so nimmt sich seine Gleichung so aus $\frac{\beta-\alpha}{(B-A)\frac{\beta+\alpha}{2}}$ oder wenn wir den Gewichtsunterschied $B-A=G$ setzen $-\frac{2(\beta-\alpha)}{G(\beta+\alpha)}$; solche Ausdrücke kann man aus der obigen Versuchsreihe bilden, welche den Längenzuwachs für die Gewichtseinheit in der Mitte der Belastung zwischen A und B und B und C angeben. — Führt man nun mehrere solcher Versuchsreihen aus und zwar in Abständen, die gross oder mit bedeutenden Anstrengungen ausgefüllt waren, so bekommt man Reihen, die unter sich vergleichbar, die Ausdehnbarkeit bei verschiedenen Ermüdungsgraden hinstellen.

Aus seinen zahlreichen nach der eben mitgetheilten Methode unternommenen Versuchen leitet Weber ab: 1. die Ausdehnbarkeit des zusammengezogenen Muskels ist grösser als die des ruhenden; d. h. dasselbe Gewicht dehnt den verkürzten Muskel um einen grössern Bruchtheil seiner natürlichen Länge aus, als den ruhenden. Dieser wichtige Satz ist, was zu betonen, von Weber noch dadurch bestätigt worden, dass, wenn derselbe Muskel im verkürzten und im ruhenden Zustand bis zu demselben Winkel um seine Längenachse gedreht ist, er im verkürzten Zustand, trotzdem dass er dicker geworden, sich langsamer wieder aufwickelt als im ruhenden; er muss also weicher, resp. dehnbarer geworden sein. Den unverfänglichsten Beweis liefert Weber endlich durch den in der vorigen Nummer erwähnten Versuch, dass nämlich ein sehr ermüdeter Muskel belastet gereizt statt sich zu verkürzen, sich verlängert. — Volkmann hat, insofern er das Weber'sche Verfahren befolgt, diesen Satz bestätigt. — 2. Die Dehnbarkeit ändert sich sowohl in ihrem absoluten Werth, wie in ihrem Abhängigkeitsverhältniss von der steigenden Belastung mit der Ermüdung. Was die erstere Veränderlichkeit betrifft, so nimmt der proportionale Längenzuwachs, den die Gewichtseinheit zwischen gleichen Belastungsgrenzen erzielt,

zuerst mit der Ermüdung zu und dann wieder ab, so dass also der am wenigsten ermüdete und der ermüdetste Muskel die am wenigsten dehnbaren sind. — Die Längenzunahme, die die Gewichtseinheit bei steigender Belastung erzeugt, bleibt sich bei dem noch unermüdeten Muskel, und in nicht allzuweiten Grenzen bei allen Belastungen annähernd gleich, oder was dasselbe sagt, die proportionale Verlängerung wächst direkt proportional mit dem Gewicht; ein Verhalten, welches nach Wundt auch dem ruhenden Muskel eigenthümlich ist. — Bei dem ermüdeten Muskel vermindert sich dagegen der proportionale Längenzuwachs durch die Gewichtseinheit mit der steigenden Belastung; d. h. es nimmt bei dem Steigen der Gewichte die Verlängerung in einem geringern Maasse zu als diese.

Das sehr wichtige Gesetz von Ed. Weber über die Abnahme des Elastizitätscoeffizienten in der Zusammenziehung ist, wie man leicht erkennt, nicht im Widerspruch mit den Schlüssen, welche aus der Untersuchung von Helmholtz gezogen sind; denn die Ergebnisse dieser letzteren Arbeit waren nur verständlich unter der Voraussetzung, dass die Verkürzung einen Gleichgewichtszustand darstellte, hervorgegangen aus der Gegenwirkung verkürzender und verlängernder Kräfte; sie sagten also aus, dass ein zu seinem Maximum verkürzter Muskel durch Anhängung eines auch noch so kleinen Gewichtes sogleich verlängert werden musste; über die Grösse der proportionalen Verlängerung durch Gewichte gaben sie jedoch keinen Aufschluss.

In scheinbaren Widerspruch tritt dagegen die Erniedrigung des Elastizitäts-Coeffizienten mit der Thatsache, dass der Muskel bei seiner Verkürzung sich verdichtet. Es löst sich derselbe aber sogleich, wenn man in Erwägung zieht, dass die Muskelsubstanz aus Stoffen von sehr verschiedenem physiologischem Werth besteht, indem nur der Inhalt der Muskelröhre Theilchen enthält, deren Anziehung primär geändert wird, während die Theilchen der primitiven und secundären Scheiden erst durch die Lagenveränderung des Inhalts gespannt, oder auch zusammengepresst werden. Man könnte sich versucht fühlen, irgend welche genauere Hypothese aus dieser Betrachtung abzuleiten, indem man noch weiter voraussetzte, dass die Spannung und Zusammenpressung dieser Scheiden u. s. w. diejenigen Kräfte darstellte, welche wir die verlängernden genannt haben, wenn Weber nicht die Thatsache gefunden hätte, dass ein sehr ermüdeter aber ruhiger Muskel durch ein angehängtes Gewicht in dem Moment, wo er durch die Inductionsschläge erregt wird, statt verkürzt zu werden sich verlängert. Da in diesen Fällen also die verlängernde Kraft nicht durch die aus einer Verkürzung des Muskels herrührende Spannung und Zusammenpressung der Scheiden erzeugt sein konnte, so müssen noch andere ganz unbekannte Umstände eintreten, die während der Muskelerregung das Zusammenhaften der Theilchen mindern.

Die Allgemeingiltigkeit der von Weber vorgetragenen Ableitungen bestreitet Volkmann auf Grund einiger Ausstellungen an den Methoden von Weber und gestützt auf neue, eigenthümlich eingerichtete Versuche. Seine Einwendungen sind vorzugsweise gegen die von Weber über die Ermüdung gemachten Annahmen gerichtet. Namentlich soll der Muskel während der Anstrengung

(also der belasteten und unbelasteten Zusammenziehung) so rasch ermüden und sich in der darauf folgenden Ruhe so rasch erholen, und beides, die Erholung und Ermüdung, soll so unregelmässig fortschreiten, dass die Muskeln weder zu irgend zwei verschiedenen Zeiten gleich beschaffen, in ihrer Elastizität vergleichbare Körper seien, noch auch, dass nach ihnen mit Hilfe der Rechnung die Erfolge zweier Zusammenziehungen vergleichbar gemacht werden könnten. Zu diesen Einwendungen wurde er bestimmt durch die auf p. 456 aufgeführten Thatsachen, wonach ein Muskel dasselbe Gewicht um so beträchtlicher hebt, je kürzere Zeit hindurch er es zu tragen hat, oder um es dem Versuch entsprechend auszudrücken, je nachdem man den schon ruhend durch das Gewicht gedehnten Muskel zur Zusammenziehung reizte, oder dem Muskel das Gewicht erst kurz vor dem Maximum seiner Zusammenziehung anhing. Was aber vom belasteten, gilt auch vom unbelasteten Muskel, d. h. es wird die natürliche Länge des Muskels, welche zu dem jeweiligen Belastungsversuch gehört, nicht zu finden sein wegen der Unregelmässigkeit, mit welcher sich während der Versuchsdauer die natürliche Länge des Muskels ändert. Dieses zeigt Volkmann durch die Thatsache, dass der unbelastet gereizte Muskel zu einer geringern Höhe aufsteigt unmittelbar nach dem Erheben einer Last, zu einer beträchtlicheren dagegen, wenn man ihn erst einige Zeit nach der Anstrengung zur Verkürzung zwang.

Demnach hat man immer zwischen mehreren Zahlen, die man vollkommen gleichberechtigt der Rechnung zu Grunde legen kann, die Auswahl und was noch mehr sagt, die Zahlenunterschiede sind so beträchtlich, dass man je nach der Entscheidung für die eine oder die andere Zahl die Dehnbarkeit des verkürzten Muskels ebensowohl viel grösser, als auch viel geringer als die des ruhenden Muskels finden kann.

Zu diesen Einwendungen, die trotz der Gegenreden Ed. Webers nicht zu beseitigen sind, wenn auch eingestanden werden muss, dass Volkmann's Versuche manches zu wünschen übrig lassen, könnte man noch andere fügen, die bei einer Wiederholung der Versuche Berücksichtigung verdienen; so z. B. war die Reizungszeit lange genug, damit der Muskel beim Heben der Last auf das Maximum seiner Verkürzung kam, siehe p. 451. Alle diese Bedenken können jedoch, wie es scheint, die Betrachtungsweise von Weber nicht umwerfen, sondern nur zur Verbesserung der Methoden auffordern und zu einer andern Auswerthung des Elastizitätscoeffizienten führen. —

7. Nutzwerth der Muskelarbeit. Weber knüpft an seine Beobachtungen über die verkürzenden und elastischen Kräfte der

Muskeln noch eine andere praktisch wichtige Betrachtung, die nämlich, wie viel von der Gesammtarbeit, welche der Muskel bei seiner Zusammenziehung ausführt, jenseits seiner Grenzen übertragen werden könne, und namentlich, wie dieser Antheil mit der ursprünglichen Länge, dem Querschnitt, der Ermüdung und der Verkürzung des Muskels veränderlich sei.

Die Arbeit, welche eine Maschine nutzbar macht, also der Antheil, welcher von ihrer Gesammtkraft nach Abzug der Reibung, der Spannung ihrer Theile u. s. w. übrig bleibt, wird bekanntlich dadurch ausgedrückt: wie viel mal kann sie ein bestimmtes Gewicht in der Zeiteinheit auf eine bestimmte Höhe heben, und zwar ist, wenn g das Gewicht, h die Höhe und t die Hubzeit bedeutet, die nutzbare Kraft der Maschine $= \frac{gh}{t}$; diese ist offenbar, weil die Kraft, welche das von der Höhe herabfallende Gewicht liefert, um so beträchtlicher, je grösser das Gewicht und die Höhe war, auf die es gebracht wurde; und weil diese Arbeit in der Zeiteinheit um so öfter ausgeführt werden kann, in je kürzerer Zeit die Maschine das Gewicht auf die Höhe (h) emportrug.

Die Betrachtung des Nutzwerthes der Muskelarbeit sieht sich leider noch gezwungen, von dem Faktor der Zeit abzusehen, da die Beobachtung bis dahin nur wenig Werth auf denselben gelegt hat. Aus der bekannt gewordenen und namentlich aus den auf die Zeit bezogenenen Zuckungscurven von Helmholtz scheint sich jedoch zu ergeben, dass kleine Gewichte auf dieselbe Höhe rascher gehoben werden als grosse; wie aber die Geschwindigkeit mit der Grösse des Gewichtes abnimmt, ist jedoch noch zu ermitteln; ferner, dass dasselbe Gewicht viel rascher auf kleine, als auf grosse Höhen gebracht und zwar scheint es, als ob die Verkürzungszeit viel rascher als die Belastung wachse, so dass es für Erzielung derselben Arbeitssumme viel vortheilhafter sei, das Gewicht öfter auf kleine, als seltener auf grössere Höhen zu bringen. — Die Thatsachen der Ermüdung lehren endlich, dass der Muskel um so dauernder wirksam sein könne, je weniger anhaltend die Arbeit auszuführen ist, so dass es vortheilhaft ist, nach jeder Anstrengung dem Muskel eine Ruhezeit zu gönnen. Eine gründliche Erledigung aller dieser Fragen ist um so wünschenswerther, weil sie auf die gewinnbringendste Verwendnng der so kostbaren Muskelarbeit des Menschen von grossem Einfluss sein dürfte.

Siehe über diese dem Techniker, Landmann, Soldaten u. s. w. wichtige Frage Burg, Compendium der populären Mechanik, Wien 1846, und Maschek, neue Theorie der menschlichen Kräfte, Prag 1842, wo mehrere Beobachtungen von Gerstner, Coulomb, Vauban u. A. zusammengestellt sind.

Sehen wir aber von der Zeit ab und fragen nur, wie sich am Muskel das Verhältniss zwischen Hubhöhe und Gewicht gestalte, so ergibt sich: 1. Bei gleicher Länge und innerer Beschaffenheit wird der Muskel ein um so grösseres Gewicht heben können, je grösser sein Querschnitt ist. Dieses ist an und für sich einleuchtend, da der Querschnitt mit der Zahl der Muskelröhren wächst und jede derselben als eine Einzelkraft anzusehen ist, aus deren Summe sich die ganze Kraft des Muskels zusammensetzt; ist also die Kraft, welche eine Röhre aufwenden kann, $= a$, so ist na die des Muskels, vorausgesetzt, dass sein Querschnitt n Fasern umfasst. — 2. Die Höhe, auf welche, alles Andere gleichgesetzt, ein Muskel dasselbe Gewicht heben kann, ist proportional seiner Länge im ruhenden Zustand. Da sich ein Muskel immer um einen bestimmten Proportionstheil seiner ruhenden Länge im Maximum der Erregung zusammenzieht, so muss natürlich der absolute Werth der möglichen Verkürzung mit der natürlichen Länge des ruhenden Muskels wachsen.

Aus diesen beiden Sätzen folgt unmittelbar, dass, wenn zwei Muskeln von ungleicher Länge und ungleichen Querschnitten auf ihrer Leistung verglichen werden sollen, sie durch Rechnung auf dieselbe Längen- und Querschnittseinheit zurückgeführt werden müssen; man wählt als cubische Einheit des Muskels gewöhnlich das Cubikcentimeter. — 3. Das Maximum, welches der Nutzwerth der cubischen Muskeleinheit erreichen kann, liegt weder beim niedrigsten, noch beim höchsten Werth der möglichen Muskelverkürzung; am letztern Punkt kann er nicht liegen, weil der Muskel, wenn er den obersten Grenzwerth seiner Verkürzung erreicht hat, die ganze von ihm entwickelte Kraftsumme zur Aufrechterhaltung der Form nöthig hat, da ihn das geringste Gewicht, welches man ihm anhängt, auch schon wieder verlängert; auf das Maximum der Höhe kann also nur Null-Gewicht gehoben werden, also ist das Produkt oh der Nutzeffekt. Umgekehrt, wenn sich der gereizte Muskel noch gar nicht zusammengezogen hat, so wird er von der in ihm entwickelten Kraft auch noch gar nichts zu einer Formveränderung verwendet haben; er wird also das grösste Gewicht gerade auf Nullhöhe heben können; also wird jetzt der Nutzwerth $= og$. Zwischen den Werthen beim Beginn und dem Schluss der

Zusammenziehung muss also ein Maximum gelegen sein; dieses würde, wenn der im Innern des Muskels selbst verzehrte Kraftantheil direkt proportional mit der Verkürzung wüchse, wie es nach Weber beim vollkommen unermüdeten Muskel der Fall zu sein scheint, gerade in der Mitte zwischen deren normalen Länge im ruhenden und im verkürzten Zustand zu finden sein, wie sich leicht ergibt, wenn man sich die Sache graphisch darstellt, indem man in Fig. 112 auf die Ordinate y die über die Muskelgrenzen hinaus übertragbaren Kräfte aufträgt, über welche in dem jeweiligen Verkürzungszustand verfügt werden kann. Die Verkürzungen sind auf x eingetragen. Die Figur würde also bedeuten: wenn der Muskel um *o* verkürzt ist, hält er der Last *6* das Gleichgewicht, bei *1* Verkürzung hebt er das Gewicht *5* und so fort, bis endlich bei *6* Verkürzung hebt er das Gewicht Null. Der Nutzwerth jeder Zusammenziehung wurde durch die Multiplikation der zueinander gehörigen Ordinaten, also in unserer Figur durch die Quadratflächen *5o1a* und *4o2b* u. s. f. bis *1oe5* erhalten; man sieht sogleich, dass der Flächeninhalt wächst, wenn die Verkürzung von Null bis auf drei zunimmt, und sich stetig vermindert, wenn die Verkürzung nach dem Ueberschreiten des genannten Punktes auf immer höheren Werthe hingeht. Aendert sich dagegen das Abhängigkeitsverhältniss zwischen der Länge des Muskels und der Belastung, so wird das Maximum der Nutzwerthe nicht mehr bei der bezeichneten Muskellänge gelegen sein. Gesetzt es sei in Fig. 113 die Curve *A* von dem Muskel bei niedrigster und die andere (*B*) bei höchster Ermüdung gewonnen (*X Y* bedeuten hier dasselbe wie in Fig. 112), so würde leicht abzuleiten sein, dass für *B* der höchste Nutzwerth durch die geringsten Belastungen zu erreichen sein würde. — 4. Bei gleicher Zusammenziehung ist der Nutzwerth des ermüdeten Muskels geringer, als der des unermüdeten. —

Fig. 112.

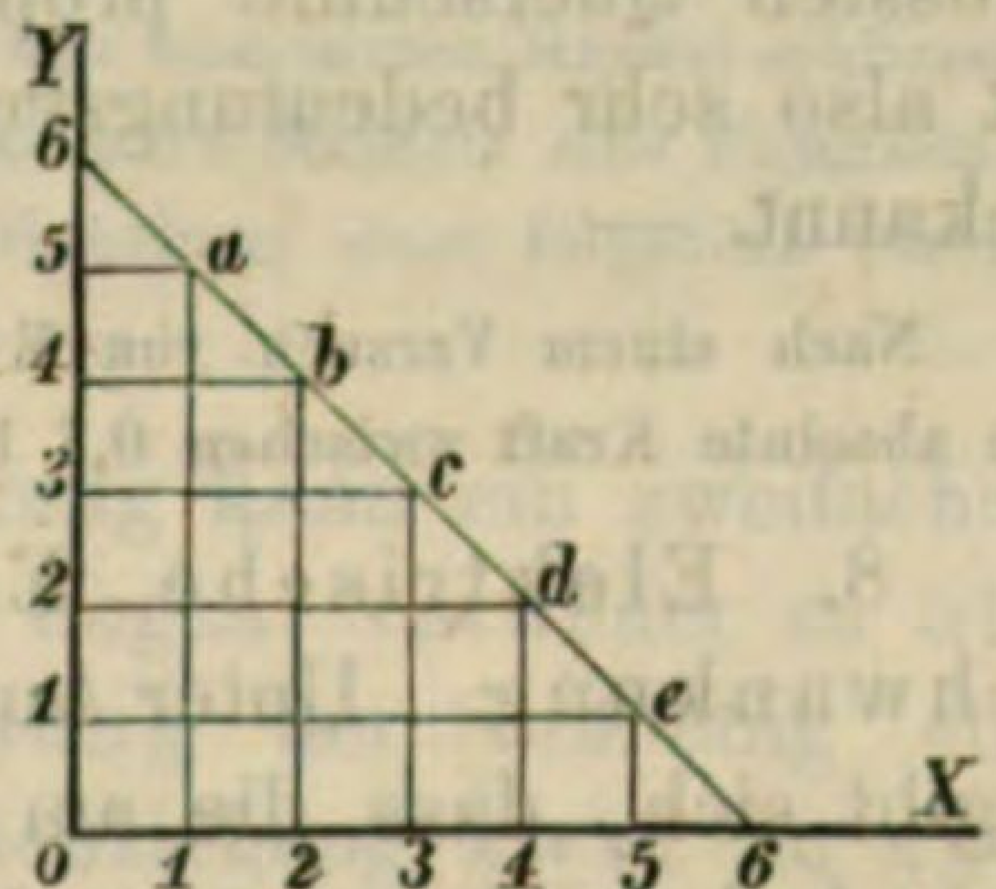
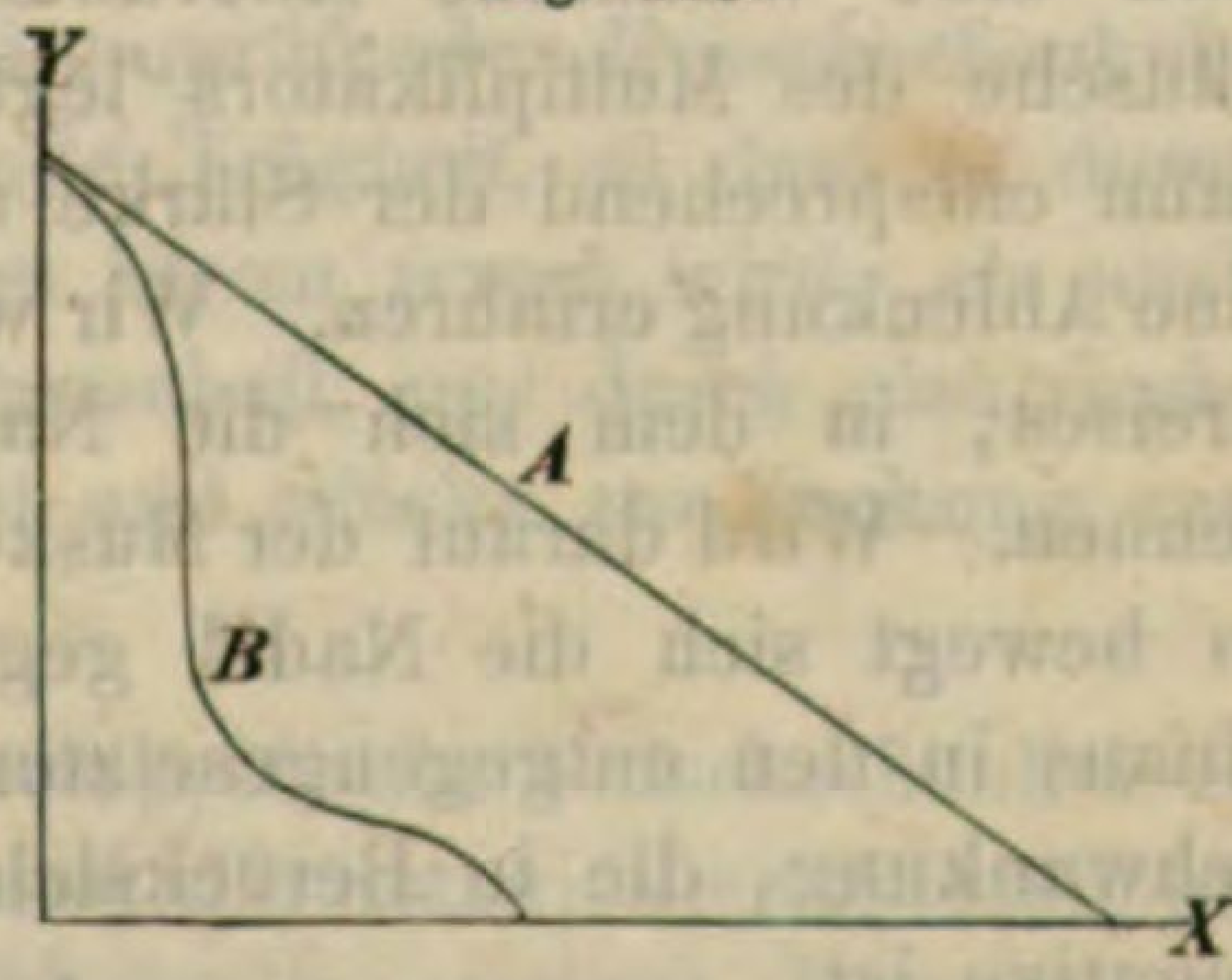


Fig. 113.



Absolute Muskelkraft. Hierunter versteht man das Gewicht, welches den gereizten Muskel, ohne sich zu verkürzen, tragen kann, und in der That muss die ganze zu dieser Zeit im Muskel entwickelte lebendige Kraft gerade mit dem Zug der Schwere im Gleichgewicht stehen, weil kein Antheil jener Kraft zur Formveränderung verbraucht wird. Da dieser Ausdruck unabhängig von der Länge des Muskels ist, so verlangt er nur ein Flächenmaass desselben als Maasseinheit, d. h. es wird die absolute Kraft des □ C.-M. Muskel bestimmt. Sie ist also bei verschiedenen Muskeln dem grössten Querschnitt proportional. Die Kenntniss dieses Werthes ist also sehr bedeutungsvoll; seine Variationen sind jedoch wenig bekannt. —

Nach einem Versuch von Ed. Weber liegt für den □ Centimeter Wadenmuskel die absolute Kraft zwischen 0,7 bis 1,0 Kilogrammen.

8. **Elektrische Eigenschaften. Negative Stromesschwankung.** Unter Anwendung besonderer Vorsichtsmaassregeln ergibt sich, dass die am ruhigen Muskel zum Vorschein tretenden elektrischen Gegensätze beim zusammengezogenen scheinbar sich mindern, indem nämlich je zwei abgeleitete Stellen eines zusammengezogenen Muskels eine viel geringere Nadelablenkung erzeugen, als dieselben des ruhigen. Man gewinnt eine deutliche Vorstellung von dem Gesetz, nach welchem die Nadelablenkung wechselt für den Fall, dass man mit gleichbleibenden Abstand der ableitenden Bäusche um den zusammengezogenen Muskel allmälig herumwandert, wenn man an der in Fig. 81 dargestellten Curve die Ordinaten y überall erniedrigt. — Der schematische Versuch zur Darstellung der vorstehenden Erscheinung würde sich etwa so gestalten, dass man eine wirksame Anordnung des ruhenden Muskels auf die Bäusche des Multiplikators legte. Die Nadel des letzteren würde dann entsprechend der Stärke und Richtung des abgeleiten Stroms eine Ablenkung erfahren. Wir wollen den Quadranten des getheilten Kreises, in dem sich die Nadel festgestellt hat, den positiven nennen. Wird darauf der Muskel plötzlich zur Contraction gebracht, so bewegt sich die Nadel gegen den Nullpunkt oder über diesen hinaus in den entgegengesetzten Quadranten, d. h. sie macht eine Schwankung, die in Berücksichtigung der früheren Bewegung eine negative ist.

Zur Untersuchung der elektrischen Eigenschaften des zusammengezogenen Muskels durch die Magnetnadel kann nur der tetanisch erregte benutzt werden, weil die Wirkungen einer einzelnen Zuckung, gegen die Trägheit der Nadel gehalten, zu flüchtig

sind, um von dieser vollkommen aufgefasst zu werden. — Damit man sicher sei, dass die Stellungsveränderungen der Nadel, welche beim Uebergang des ruhigen Muskels in den zusammengezogenen eintreten, nicht die Folge unwesentlicher Umstände sei, wie z. B. einer Veränderung des Leitungswiderstandes, erzielt durch die Formumwandlung des Muskels oder die Verkleinerung der Berührungsstellen mit den Bäuschen u. s. w. legt du Bois einen Muskel auf, der an beiden Enden so fest eingespannt ist, dass bei seinem Uebergang in den Tetanus auch nicht die geringste Formveränderung zum Vorschein kommt. — Um endlich die reinen Wirkungen des zusammengezogenen Muskels auf die Nadel zu erhalten, ist es nothwendig, den tetanisirten Muskel in den ganz gleichartigen Multiplikatorenkreis zu bringen; daraus folgt die Regel, dass man in den gleichartigen Multiplikatorenkreis nicht erst den ruhigen Muskel legen und diesen dann tetanisiren, sondern dass man den Kreis sogleich durch den tetanisirten Muskel schliessen soll; denn offenbar würde sonst durch den Strom des ruhenden Muskels eine Polarisation der Platinplatten hervorgebracht, welche das klare Erscheinen einer folgenden Stromveränderung wesentlich beeinträchtigen könnte.

Dieser Verminderung der Nadelablenkung kann ein zweifaches Verhalten des Muskelstromes zu Grunde liegen; entweder es tritt in der That eine constante Schwächung der Strömung ein, oder es wechseln während der Zusammenziehung zwei im entgegengesetzten Sinne gerichtete Ströme so rasch mit einander ab, dass die träge Nadel nicht die Veränderung jedes einzelnen, sondern nur der Resultirenden aus beiden Strömen anzeigte. — Auf die Zustände des Muskels bezogen würde diese Alternative die Bedeutung haben: entweder es nehmen in der Zusammenziehung die Gegensätze zwischen Querschnitt und Oberfläche constant ab oder es tritt eine solche Schwankung ein, dass der Längenschnitt bald + und bald — und diesen entsprechend der Querschnitt bald — und bald + würde.

Zur Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten verhelfen die Eigenthümlichkeiten des stromprüfenden Froschschenkels, und zwar sowohl seine verschwindende Trägheit, so dass er durch einen auch nur momentan dauernden Strom erregt wird, als auch die andere nicht minder wichtige Eigenschaft, nur durch elektrische Ströme von veränderlicher Dichtigkeit und Stärke zur Zuckung veranlasst zu werden.

In der That entscheidet der stromprüfende Froschschenkel zu Gunsten der Vorstellung, dass während der tetanischen Zusammenziehung die elektrischen Muskelmolekeln in stetigen Bewegungen begriffen sind, denen zufolge die den Muskel umkreisenden elektrischen Ströme sowohl ihrer Richtung als auch ihrer Intensität nach in stetige Schwankungen gerathen.

Denn überbrückt man gleichzeitig Quer- und Längenschnitt eines Muskels mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels, so geräth dieser letztere augenblicklich in Zuckung, so wie man den ersteren durch Erregung seines Nerven zur Zusammenziehung bringt (sekundäre Zuckung von Matteucci). Diese einmalige Zuckung des stromprüfenden Schenkels verwandelt sich aber selbst in eine anhaltende, eine tetanische, sowie man den primär sich zusammenziehenden Muskel tetanisirt (du Bois); dieses würde aber nicht möglich sein, wenn der primär tetanisirte Schenkel von einem Strom constanter Stärke umkreisst würde.

In dem zeitlichen Verlauf der Muskelzusammenziehung unterschied Helmholtz *) bekanntlich die Stadien der latenten und der offenbaren Zuckung, d. h. es verfloss zwischen dem momentanen Reiz und der beginnenden Formveränderung des Muskels ein merklicher Zeitraum. Helmholtz hat sich die Frage aufgeworfen, in welches Stadium die negative Stromesschwankung falle; er beantwortet sie dahin, dass das Maximum derselben in die Zeit der latenten Zuckung gehöre; d. h. die der Zeit nach nächste und unmittelbarste Folge des Reizes ist die Bewegung der elektrischen Molekeln in dem obenbeschriebenen Sinne.

Wir haben bisher den Muskel betrachtet, welcher seiner parelektronomischen Schicht (s. p. 428) beraubt war; es gewährt nun mit Rücksicht auf die Richtung der Bewegung, welche die Molekeln ausführen, ein besonderes Interesse, sie auch an solchen Muskeln untersuchen, welche mit dieser Schicht versehen sind **). War dieselbe in vollkommener Ausbildung vorhanden, so wurde dadurch, wie wir uns erinnern, der natürliche Querschnitt entweder indifferent oder sogar positiv gegen den Längenschnitt, so dass durch einen solchen Muskel im ruhenden Zustand die Nadel entweder gar nicht oder umgekehrt wie gewöhnlich abgelenkt wurde. Tetanisirt man nun einen solchen Muskel, so erscheint auch hier die Schwankung der Magnetnadel, in der Art jedoch, dass ihre Bewegung jedesmal auf einen eintretenden oder noch verstärkten Strom von dem Querschnitt zur Oberfläche deutet. Der Querschnitt des erregten parelektronomischen Muskels wird also absolut positiver als der Längenschnitt, woraus hervorzugehen scheint, dass die parelektronomische Schicht keinen Antheil an der Schwankung der Muskelmolekeln nimmt. —

Als sich von selbst verstehend ist die Bemerkung anzusehen, dass man den zusammengezogenen Muskel, welchen man auf den Bäuschen liegend untersucht, entweder durch andere als elektrische Mittel vom Nerven aus tetanisiren muss, oder

*) Berliner Monatsberichte. Juni 1854.

**) Berliner Monatsberichte. 30. Juni 1851. p. 17.

wenn man sich des Induktionsapparates bedient, Vorrichtungen zu treffen hat, die den Eintritt der erregenden Ströme in den Multiplikatorenkreis hindern. — Der Entdecker der secundären Zuckung bemühte sich zu beweisen, dass dieselbe durch keine Veränderung des den ruhenden Muskel umkreisenden Stromes erzeugt werde. Es treten aber, wie bei du Bois*) des Ausführlicheren nachzusehen, die vorgebrachten Beweise gerade für das Gegentheil der Matteucci'schen Behauptung in die Schranken.

Die negative Schwankung vervollständigt die Analogie, welche die elektrischen Einrichtungen der Nerven und Muskeln bieten; es wird darum alles das, was über die Zusammensetzung des Nerven aus elektrischen Molekeln gesagt wurde, hierher zu übertragen sein. Der einzige bemerkenswerthe Unterschied zwischen dem elektrischen Verhalten der Nerven und Muskeln, soweit es uns bekannt ist, beruht darauf, dass die Muskeln nicht in den elektrotonischen Zustand gerathen.

9. Coerzitivkraft**) des Muskels. Das Fortschreiten der Erregung innerhalb des Muskels geht nach andern Gesetzen vor sich als im Nerven. Während hier der erregte Zustand sich dies- und jenseits des gereizten Ortes durch die ganze Länge der Faser verbreitet, bleibt im Muskelrohr die Zusammenziehung auf die gereizte Stelle annähernd beschränkt (Ad. Fick). Als allgemein bekannter, aber mangelhafter Beweis für diesen Satz gilt die Beobachtung, dass auf einem harten Schlag mit dem Ulnarrand der Hand auf den m. biceps brachii des Menschen nur eine Hervorwulstung desselben folgt von der Breite des schlagenden Randes. Ad. Fick hat die hierher gehörigen Erscheinungen genauer an den langen Bauchmuskeln des Frosches geprüft, die sich dazu besonders eignen, weil jeder derselben an zwei von einander entfernt liegenden Orten, oben und unten, seine Nerven erhält. Erregte Fick den untern dieser Nerven, so zog sich auch nur das untere Viertheil des Muskels zusammen; bei der Prüfung mit dem Multiplikator gab die obere nicht contrahirte Abtheilung den ruhenden Muskelstrom in gewöhnlicher Stärke, während die untere contrahirte in die negative Schwankung trat.

10. Wärmeeigenschaften. Während seiner Zusammenziehung entwickelt der Muskel eine gewisse Menge von Wärme, die jedoch zu gering ist, als dass sich überhaupt ermitteln liesse, in welchem Verhältniss sie zur Masse und dem Verkürzungsgrad des Muskels steht.

*) II. Bd. 1. Abth. p. 93 u. f.

**) Untersuchungen zur Naturlehre von Moleschott. II. Bd. 93.

Die Messung der im Muskel entwickelten Wärme geschieht durch die Thermokette; M. Becquerel hat sie zuerst hierzu in Anwendung gebracht; seine Untersuchungsmethode ist jedoch mit zu vielen Fehlern behaftet, als dass die durch sie gewonnenen Resultate werthvoll wären. Helmholtz *), der so ausserordentliche Verdienste um die Lösung der schwierigsten Aufgaben der Muskel- und Nervenphysiologie besitzt, hat auch hier zuerst fehlerfreie Versuche angestellt. Sein Verfahren bedient sich der folgenden Mittel: a) Seine Thermokette besteht aus einem sehr dünnen und schmalen Eisenblech, an dessen beiden Enden entsprechende, je halb so lange Neusilberbleche angelöthet sind. Die Eisen-Neusilberkette ist mit Ausnahme ihrer äussersten Enden mit Firniss überzogen; diese Enden selbst laufen spitz aus, damit man sie durch den Muskel bohren könne. Solcher Bleche werden von Helmholtz mehrere, gewöhnlich drei in den Muskel gestossen, welche nach ihrer Einführung in denselben zu einer Kette nach dem in Fig. 114 dargestellten Schema vereinigt werden. In der Zeichnung sind die Neusilberstücke schraffirt; die Kettenenden sind *PP*. — b) Thermomultiplikator; an die Kettenenden *PP* fügt man einen Multiplikator, dessen sehr gut astatische Nadeln hier von einem dicken Draht von nur 50 bis höchstens 100 Windungen umgeben sein dürfen, und dies zwar darum, weil die thermoelektrischen Ströme an und für sich sehr schwach sind und sie an ihrem Entstehungsort in der metallischen Kette keinen nennenswerthen Widerstand zu überwinden haben. Sie würden demnach durch den Leitungswiderstand einer grösseren Zahl von Drahtwindungen bald so weit geschwächt werden, dass der Verlust, der aus der Schwächung der Stromintensität entstehen würde, nicht zu ersetzen wäre durch die Multiplikation, die aus den Drahtwindungen hervorgeht.

Fig. 114.



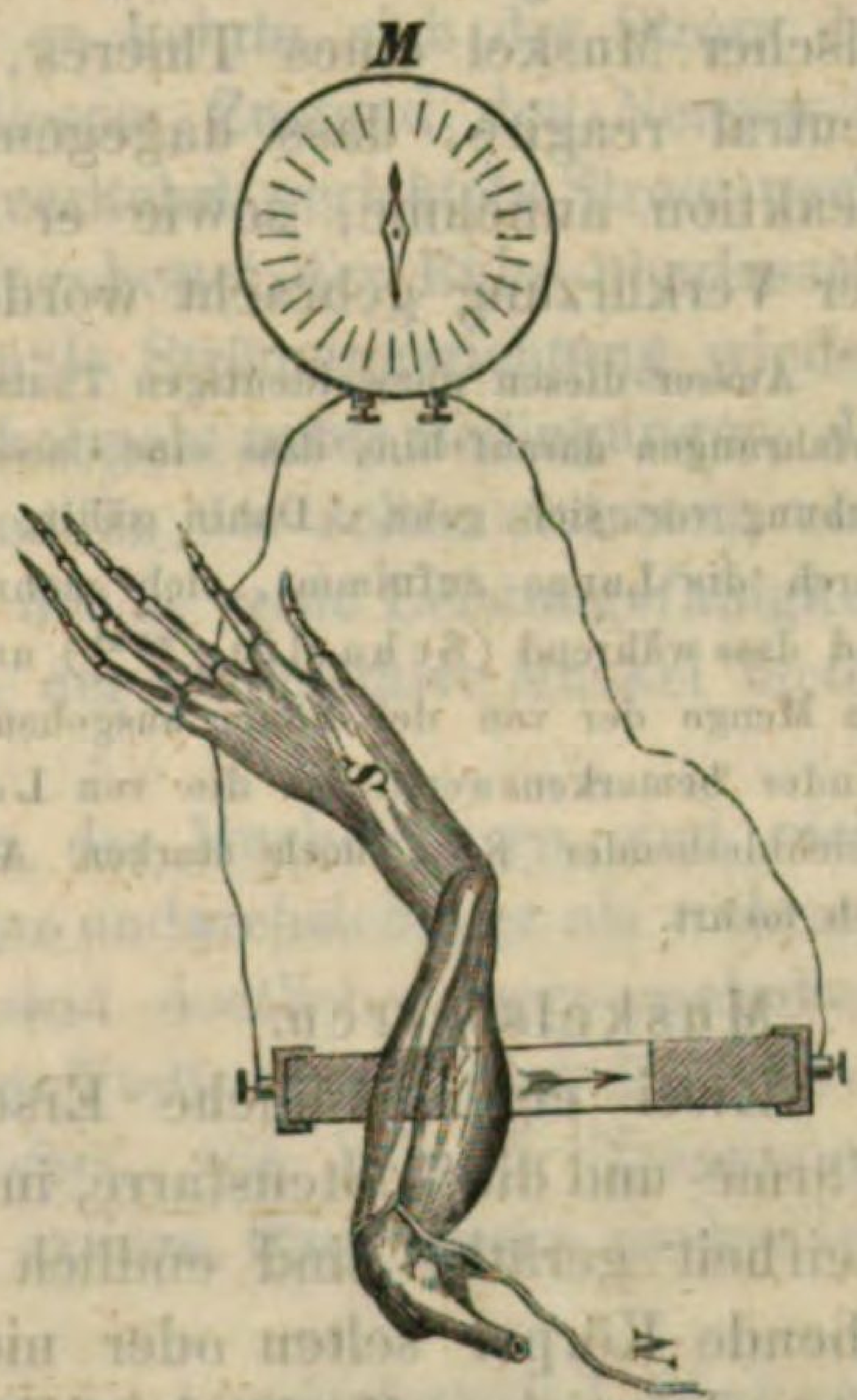
Erwärmt man die eine Reihe von Löthstellen unserer Kette, während man die andere Reihe auf ihrer frühern niedrigern Temperatur erhält, so entsteht ein Strom in der erwärmten Löthstelle in der Richtung vom Neusilber zum Eisen, dessen Intensität proportional der Temperaturdifferenz der beiden Reihen von Löthstellen steigt. Desshalb gelingt es nun, da die Abhängigkeit der Winkelablenkung der Magnetnadel von der Stromintensität bekannt ist, durch die Nadelablenkung den Grad der Wärme zu bestimmen, welchen die zweite Löthstelle angenommen, wenn die Temperatur der ersten bekannt ist. Bei Anwendung so feiner Apparate ist es aber gerathener, ja nothwendig, geradezu das Verfahren der empirischen Graduirung des Multiplikators zu benutzen, wenn man aus der Nadelablenkung auf die Temperatur schliessen will. Helmholtz's Apparat war so genau, dass mit Sicherheit noch Temperaturdifferenzen beider Löthstellen von 0,0007° C. ermittelt werden konnten.

c) Der Muskel, welchen man der Untersuchung unterwirft, darf nicht mehr vom Blut durchströmt sein, weil das venöse und arterielle Blut mit wesentlichen Tempe-

*) Ueber die bei der Muskelaction entwickelte Wärmemenge. Müller's Archiv. 1848.

raturdifferenzen begabt sind, so dass je nach dem Uebegewicht der einen oder andern Blutart sehr beträchtliche Fehler entstehen könnten; man wählt also am besten einen ausgeschnittenen Froschschenkel, durchstösst diesen mit den Kettengliedern, verbindet diese zur Säule und die Enden derselben mit dem Multiplikator, wartet dann so lange, bis die Nadel des Multiplikators auf den Nullpunkt gegangen, und versetzt endlich den Muskel in Zusammenziehung durch schwache elektrische Schläge, die man durch den Nerven des Muskels oder auch durch diesen selbst ohne Schaden leiden kann, weil die Kette durch den Firnissüberzug innerhalb des Muskels isolirt ist. Diese sehr feinen Versuche machen auch noch mannigfache Vorsichtsmaassregeln nothwendig zur Erhaltung einer gleichmässigen Temperatur der nicht im Muskel befindlichen Löthstellen, worüber das Genauere bei Helmholtz. — Das Schema des ganzen Versuchs giebt die Fig. 115. *N S* bedeutet Nerv mit den zugehörigen Muskeln; durch das Froschbein ist die hier nur eingliederig gezeichnete Kette eingeschoben; die im Fleisch verborgene Löthstelle scheint in der Zeichnung durch, die andere Löthstelle ist frei; der Strom würde bei Erwärmung des Muskels in der Richtung der Pfeile zum Multiplikator *M* gehen. — Die Temperaturerhöhung, welche Helmholtz bei der Zusammenziehung an den Froschmuskeln beobachtete, betrug im Mittel 0,16° C.

Fig. 115.



11. Chemische Eigenschaften. Während seiner Zusammenziehung ändert der Muskel nachweisslich seine chemischen Eigenschaften; worin aber diese Veränderung bestehe, lässt sich bis jetzt nicht auf eine, dem gegenwärtigen Standpunkt der Chemie entsprechende Weise ausdrücken. — Den ersten Nachweiss, dass eine Veränderung vor sich gehe, hat Helmholtz*) geliefert, indem er zeigte, dass die festen in der Feischflüssigkeit gelösten Substanzen, welche aus dem bis zur Erschöpfung tetanisirten Muskel gezogen wurden, verschieden von denjenigen seien, welche aus dem gleichnamigen Muskel desselben Thieres, der sich in Ruhe befunden hatte, gewonnen werden konnten; namentlich hatte sich im zusammengezogenen Muskel der in Weingeist lösliche Theil des Rückstandes der Fleischbrühe gemehrt und der nur in Wasser lösliche gemindert.

*) Müller's Archiv 1845. Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaktion.

Aus den Untersuchungen von Liebig *) und Scherer **) scheint weiter der Schluss gezogen werden zu können, dass sich in den zusammengezogenen Muskeln die Menge des Kreatins (und Hypoxanthins?) mehre. Denn sie fanden in den Muskeln lebhaft sich bewegender und im Herzmuskel aller Thiere diesen Stoff in beträchtlichster Menge. — Endlich hat du Bois noch entdeckt, dass ein frischer Muskel eines Thieres, der sich lange in Ruhe befunden, neutral reagire, dass dagegen dieser Muskel sogleich eine saure Reaktion annehme, sowie er einige Zeit hindurch in den Zustand der Verkürzung gebracht worden war.

Ausser diesen unzweideutigen Thatsachen weisen aber noch andere, vieldeutigere Erfahrungen darauf hin, dass eine Umsetzung der Muskelsubstanz bei ihrer Zusammenziehung vor sich gehe. Dahin zählt, dass die Sauerstoffmenge, welche ein Mensch durch die Lunge aufnimmt, sich mehrt während der Muskelanstrengung (Seguin) und dass während (Scharling ***)) und nach (Vierordt †)) der Muskelanstrengung die Menge der von der Lunge ausgehauchten CO_2 sich beträchtlich steigere. — Nicht minder bemerkenswerth ist die von Lehmann ††) beobachtete Thatsache, dass bei gleichbleibender Kost nach starken Anstrengungen der Harnstoffgehalt des Urins sich mehrt.

Muskelstarren.

Zwei eigenthümliche Erscheinungsformen des Muskels, die Wärme- und die Todtenstarre, in welchen derselbe in eine andauernde Steifheit geräth, sind endlich noch zu betrachten. Obwohl der lebende Körper selten oder niemals die Bedingungen einschliesst, unter denen jene Zustände sich erzeugen, so sind sie doch für uns von Wichtigkeit, weil sie überhaupt über das Wesen des Muskels Aufschluss versprechen.

1. Wärmestarre †††). Verweilt ein Froschmuskel in Wasser von 65° R. 25 Secunden (Pickford), oder mehrere Minuten in Wasser von 30° R., so wird derselbe, indem er sich verkürzt, steif und kann durch die gewöhnlichen Muskelerreger nicht mehr in Zuckungen versetzt werden. In diesem Zustande lenkt er die Magnetnadel nach einer Richtung ab, welche darauf hinweist, dass der Querschnitt positiv und der Längenschnitt negativ sei (du Bois). Dieses Zusammentreffen der Verkürzung mit einer constanten Um-

*) Annal. d. Chem. v. Liebig u. Wöhler. 62. Bd.

**) Annal. d. Chem. v. Liebig u. Wöhler. 73. Bd.

***) Journal für prakt. Chemie. 48. Bd. p. 435.

†) Wagner's Handwörterbuch. 2. Bd. p. 886.

††) Physiolog. Chemie. 1. Bd. 2. Aufl. p. 169.

†††) Du Bois, II. Bd. 1. Abth. p. 178 u. 550. — Pickford, Zeitschrift für rat. Medizin. Neue Folge. I. 110.

drehung der elektrischen Molekeln ist bedeutsam genug. — Diese Starre löst sich jedesmal nach einigen Minuten, vorausgesetzt, dass die sie erzeugende Temperaturwirkung auf die oben bezeichneten Grade und Zeiten sich beschränkte (Pickford).

Einen ganz analogen Zustand hat du Bois an den Nerven entdeckt und weiter verfolgt; setzte er einen Nerven den Strahlen eines stark glühenden Körpers aus, so kehrte sich der Strom des Nerven um, und versetzte er in diesem Zustand den Nerven in Erregung, so verstärkte sich dieser verkehrt gerichtete Strom noch. Wurde der Nerv in Muskelfleisch eingebettet der Ruhe überlassen, so kehrte nach einiger Zeit die normale Strömungsrichtung wieder.

2. Todtenstarre *). Der Muskel geht unter Bedingungen, die im todten Thiere gewöhnlich, im lebenden nur selten eintreten, eine eigenthümliche Veränderung ein, bei der er seine Leistungsfähigkeit einbüsst. Von den Eigenschaften, die der todtenstarre Muskel bietet, sind folgende aufgedeckt worden:

a) Die optischen Erscheinungen der Muskelröhren sind nicht wesentlich geändert; er erscheint etwas undurchsichtiger als während des Lebens und die Querstreifen sind deutlicher hervorgehoben. Ausserdem sollen sich beim Eintritt der Todtenstarre auch die Röhren einiger Muskeln, z. B. die des Kiefers, wie bei der Zusammenziehung verkürzen und verbreitern; andere thun dieses nachweisslich nicht (Kussmaul).

b) Die Ausdehnbarkeit des Muskels ist vermindert (Ed. Weber). Seine Cohäsion soll nach einigen Angaben vermehrt (?) (Busch), nach andern vermindert sein (Valentin, Wertheim, Kussmaul).

c) Die elektrischen Gegensätze zwischen Oberfläche und Querschnitt des Muskels sind im Beginn der Todtenstarre entweder noch in gewöhnlicher oder aber in umgekehrter Ordnung vorhanden, so dass nun der Querschnitt positiv und der Längsschnitt negativ geworden ist; so oft sie aber vorhanden sind, ist ihr Auftreten nur ein spurweises gegen dasjenige im leistungsfähigen Muskel: hat die Todtenstarre aber nur kurze Zeit hindurch bestanden, so verschwinden sie vollständig (du Bois).

d) Zur chemischen Charakteristik sind einige werthvolle Bei-

*) Valentin. Lehrbuch der Physiologie II. a. 113. — Derselbe, Archiv für physiolog. Heilkunde. 1855. — Stannius, Untersuchungen über Leistungsfähigkeit der Muskeln u. Todtenstarre. Archiv für physiolog. Heilkunde XI. — Brown-Séquard, Compt. rend. Juni u. August 1855. — Du Bois, Thier. Elektr. II. Bd. 1. Abth. 156. — Krause, de rigore mortis. Dorpat 1853. — Kussmaul, Prager Vierteljahrschrift. 1856. 2. Bd.

träge geliefert worden. 1. Die augenfälligste Umsetzung besteht darin, dass die im lebenden Muskel flüssigen Eiweisskörper in der Todtenstarre fest werden, oder wie sich Brücke, dem diese Anschauung angehört, ausdrückt, dass in der Todtenstarre der flüssige Muskelfaserstoff gerinne. Die Gründe hierfür findet er: in der offenbaren Analogie, die die Erscheinungen des Eintritts der Todtenstarre mit einer Gerinnung zeigen, und in der That bieten beide Vorgänge eine überraschende Aehnlichkeit, wenn man die allmälige steigende Trübung und Steifung der Muskeln und die Uebereinstimmung in's Auge fasst, welche die Todtenstarre rücksichtlich der Zeiten ihres Eintritts und ihrer Lösung (durch Fäulniss) mit den in dem Blute eintretenden Gerinnungserscheinungen bietet. — Sehr wesentlich unterstützt werden diese Bemerkungen durch die Beobachtung von Kussmaul, dass die Muskeln die Todtenstarre in um so ausgeprägteren Grade darbieten, je mehr sie von dem in Salzsäure (von 0,1 p. C.) löslichen Proteinkörper enthalten.

Darüber, dass die Muskelstarre auf der Gerinnung eines im Leben flüssigen und zwar eines Eiweissstoffes beruht, scheint kaum noch eine Meinungsverschiedenheit zu bestehen; um so weniger ist man aber einig über die Natur des gerinnenden Stoffes. Gegen die Annahme einer mit dem Blutfibrin identischen Substanz machen sich geltend: die Untersuchungen von Stannius, welcher nachwiess, dass das in den Muskelgefässen enthaltene Blut noch flüssig ist, wenn schon die Todtenstarre eingetreten war und noch mehr, dass die schon hereingebrochene Todtenstarre wieder gelöst, mit andern Worten der Muskel in seinen leistungsfähigen Zustand zurückgeführt werden konnte, wenn man den Blutstrom, durch dessen Unterbrechung der Muskel todtenstarr geworden war, wieder durch die Muskelgefässe gehen liess. Diese Thatsachen beweissen allerdings, dass wenn die Todtenstarre von einer Gerinnung einer im Muskelrohr enthaltenen Flüssigkeit begleitet ist, diese Flüssigkeit unter andern Bedingungen gerinnen muss, als der Blutfaserstoff. Aber indem man dieses zugibt, verneint man noch nicht die Gegenwart des flüssigen Faserstoffs in den Muskeln, da bekanntlich auch die Zeit der im Blut erscheinenden Gerinnung durch Zusatz von Salzen, das Abhalten der Luft u. s. w. mannigfach modifizirt werden kann. — Durch die Thatsache, dass Einspritzungen von conzentrirtem Kali, Essigsäure und Kalkwasser in die Blutgefässe des Muskels den Eintritt der Todtenstarre beschleunigen, glaubt sich Kussmaul zu der Behauptung berechtigt, dass der festgewordene Röhreninhalt nicht aus Faserstoff bestehe. Soll dieser Versuch das, was er will, beweissen, so muss dargethan sein, dass die Salze nicht durch Veränderungen, die sie an der Röhrenscheide, der Muskelflüssigkeit u. s. w. anbringen, den Röhreninhalt rasch abtödten; ferner dass sie, bevor der Röhreninhalt geronnen, in der nöthigen Menge in das Innere der Röhre gedrungen sind, und dass sie endlich gegen den in die chemischen Bestandtheile des Muskels eingemengten Faserstoff so reagiren, wie gegen den des Blutes. — Die Einwendung gegen die Gerinnungshypothese, dass es nicht gelingt, flüssigen Faserstoff durch Auspressen der frischen Muskeln zu erhalten, ist, wie Brücke zeigt, darum bedeutungslos, weil während des Auspressens die Muskeln todtenstarr werden.

2. Der todtenstarre Muskel enthält weniger Wasser, als der erregbare (Krause); der aus der Starre herausgetretene (der faulende) jedoch noch weniger, als der starre Muskel. — 3. Der todtenstarre Muskel verzehrt aus der ihn umgebenden Luft O, und gibt CO_2 und N-Gas aus. Die Menge der CO_2 ist im Verhältniss zum verzehrten O grösser, als im erregbaren Muskel. Die N-Gasentwickelung ist dem abgestorbenen Muskel ebenfalls im Gegensatz zum erregbaren eigenthümlich (Valentin).

Die Zeit des Eintretens der Todtenstarre im verstorbenen Thier ist eine sehr verschiedene; der Zeitraum, welcher im Menschen und im Säugethier nach Nysten und Sommer zwischen dem letzten Athemzug und der beginnenden Todtenstarre verfliesst, wechselt zwischen zehn Minuten bis achtzehn Stunden. Die auf diesen Punkt bezüglichen Angaben haben für den Gerichtsarzt vorerst noch mehr Interesse, als für den Physiologen. Hier sei nur folgendes angemerkt. 1. Je leistungsfähiger ein Muskel während des Lebens war, um so rascher fällt er der Todtenstarre anheim. — 2. Heftige Anstrengung der Muskeln vor dem Tode beschleunigen den Eintritt derselben. — 3. Die Muskeln des Halses werden früher todtenstarr, als die des Gesichts und der oberen Extremitäten, und diese früher als die der unteren Gliedmassen (Sommer, Kussmaul). — 4. Wird ein Muskel Umständen ausgesetzt, die seine Erregbarkeit vernichten, so tritt die Todtenstarre um so rascher ein, je energischer jene Mittel wirken. So z. B. erstarrt der Muskel am lebenden Thier, wenn ihm die Blutzufuhr abgeschnitten wird (Stannius). Ein abgeschnittener Muskel erstarrt in einer sauerstofffreien Atmosphäre rascher als in einer sauerstoffhaltigen (Humboldt, Liebig).

Die Todtenstarre stellt keinen bleibenden, sondern einen vorübergehenden Zustand des Muskels dar; sie verliert sich allmählig und zwar nicht allein, wie man bisher glaubte, durch die beginnende Fäulniss, sondern auch durch den Hinzutritt von arteriellem Blut (Brown-Séquard, Stannius). — Unterbindet man an einem lebenden Kaninchen nach Stannius die aorta abdominalis und gleichzeitig die art. cruralis, so beginnt die Todtenstarre in der hinteren Extremität [und zwar entgegen dem Sommer'schen Gesetz in den Unterschenkeln zuerst] $1^1/_2$ bis 3 Stunden nach vollendeter Operation einzutreten. Löst man nach vollkommen ausgeprägter Starre (bis auf 5 Stunden nach Anlegung der Ligatur) die Unterbindung und stellt dadurch den Blutkreislauf in der hintern Extremität wieder her, so verschwindet die Starre mehr oder weniger vollkommen;

die Zeit, welche der wiederhergestellte Blutkreislauf zur Erzielung dieses Erfolges bedurfte, betrug in verschiedenen Fällen von 20 Minuten bis zu 2 Stunden. — Die Zeit, in welcher der Fäulnissprozess die Lösung der Todtenstarre vollbringt, ist eine viel beträchtlichere; wechselnd beträgt sie nach Erfahrungen von Nysten 48 bis 150 Stunden seit dem Eintritt derselben. — Die einzige allgemeine Regel, welche zahlreiche Erfahrungen rücksichtlich der Andauer der Todtenstarre geliefert haben, ist die, dass sie um so länger anhält, je später nach dem Tode sie auftrat. Ausnahmen von dieser Regel gibt es jedoch zahlreiche, wie z. B. die Muskeln der Frösche, welche an Strychninvergiftung starben, kurz nach dem Tode in die Starre ein- und sehr spät aus ihr austraten. Siehe hierüber des Weiteren Kussmaul.

So unvollkommen die Angaben über die Todtenstarre auch noch sind, so genügen sie doch weitaus, um den alten Irrthum zu beseitigen, dass die Starre einen der Muskelzusammenziehung verwandten Zustand darstelle. Denn es ergibt sich bei einer Vergleichung der Eigenschaften beider Zustände die durchgreifendste Verschiedenheit; in der Zusammenziehung wird der Muskel weicher, in der Todtensarre härter; in der Zusammenziehung erscheint die negative Schwankung des elektrischen Stromes, in der Starre verschwindet der Strom; die Starre besteht bei Mangel an Sauerstoff, der zusammengezogene Muskel bedarf desselben; der zusammengezogene Muskel entwickelt Wärme, der starre keine; der zusammengezogene Muskel ermüdet im Gegensatz zum starren u. s. w. —

B. Physiologie der muskulösen Faserzelle.

1. Anatomisches Verhalten *). Die Faserzelle, das anatomische Element der glatten Muskulatur, stellt ein verschiedenartig gestaltetes Blättchen dar, dessen Ausdehnung nach einer Richtung (der Länge) diejenige nach der andern überragt; die besonderen Formen ihrer Umgrenzung gleichen bald mehr Spindeln, bald einem Oblong. Das einzelne Blättchen erscheint dem bewaffneten Auge entweder glatt oder leicht gestreift, in seinem Innern ist constant eine kleine Zelle, ein sogenannter Kern eingebettet (Kölliker). — Bei der Untersuchung im polarisirten Licht findet sich die ganze Masse durchweg doppelbrechend. Die Disdiaklasten sind also nicht

*) Henle, Jahresbericht für Fortschritte der allgem. Anatomie in den Jahren 1847 u. 1850.

wie beim quergestreiften Muskel in regelmässige wiederkehrende Blätter zusammengeordnet (Brücke). — Die Anwesenheit einer sogenannten Scheide, d. h. eines geschlossenen Säckchens, in welchem das Muskelgewebe läge, ist nicht erwiessen. — Die Faserzellen sind meist mit ihren schmalen Enden zur Bildung von Fasern aneinander gelegt.

2. Chemisches Verhalten **). Die Grundsubstanz der Faserzellen theilt alle Eigenthümlichkeiten des Inhaltes der quergestreiften Muskelröhre; die Flüssigkeit, welche die Grundsubstanz durchtränkt, ist nicht minder der Flüssigkeit des rothen Fleisches ähnlich; nachweislich enthält sie Hypoxanthin, Kreatin, Inosit, Butter-, Milch- und Essigsäure, grössere Mengen von Kali und phosphorsauren Salzen (Lehmann), statt des Eiweisses bietet sie jedoch an einzelnen Orten Käsestoff dar (Schultze). — Eine besondere Scheidensubstanz ist auf chemischem Wege nicht nachzuweisen, indem durch Behandlung mit einer verdünnten Salzsäure (1. p. m. haltende Lösung) die ganze Masse mit Ausnahme der Kerne in Auflösung kommt. — Ueber die chemische Natur der Kerne ist nichts ermittelt.

Die abweichenden Angaben über die Reaktionen der Muskelflüssigkeit auf Lackmuspapier, Schultze fand sie alkalisch (Arterienhaut), Lehmann neutral (tunica dartos) und sauer (tunica muscularis des Magens), sind begreiflich einander nicht widersprechend; sie stellen die von du Bois an der Flüssigkeit des gestreiften Muskels entdeckte Thatsache am glatten vor.

3. Physiologisches Verhalten. Dieser Muskel besteht in ähnlichen Zuständen wie der quergestreifte. Die Eigenschaften derselben und die Bedingungen ihres Eintritts sind uns aber weit weniger bekannt, als bei dem quergestreiften.

a) Verlängerter Zustand. Seine besonderen elastischen, chemischen und calorischen Eigenschaften sind noch niemals Gegenstand der Untersuchung gewesen.

Sein elektrisches Verhalten hat du Bois ganz analog dem des ruhenden quergestreiften Muskels gefunden; der einzige Unterschied, der sich herauszustellen scheint, liegt darin, dass die Stärke der abgeleiteten Ströme weitaus nicht so beträchtlich ist, als die von dem qnergestreiften erhaltenen.

b) Verkürzter Zustand. Um den glatten Muskel in den verkürzten Zustand überzuführen, ist der Hinzutritt derselben äusseren

*) Lehmann, physiolog. Chemie. III. 64.

Bedingungen nothwendig, welche der quergestreifte bedurfte; wie mit der Veränderung der Eigenschaften des Muskels selbst die Werthe der Verkürzung Hand in Hand gehen, ist unbekannt.

Die Form des verkürzten glatten Muskels ist noch nicht untersucht; die Maximalwerthe der beobachteten Verkürzung unter günstigen Bedingungen betragen an der Darmmuskulatur nach Valentin 68 p. C. der Längeneinheit der ruhenden Faser. Die zeitlichen Erscheinungen der Zusammenziehung sind abweichend von denen des quergestreiften Muskels; indem die im quergestreiften Muskel rasch ineinander übergehenden Akte hier sehr viel langsamer aufeinander folgen. — Nach Einwirkung eines momentanen Erregungsmittels auf den Nerven des Muskels oder auf den Muskel selbst beginnt meist (eine Ausnahme scheint die Iris zu bilden) erst nach Verfluss von einigen Secunden der Akt der Zusammenziehung merklich zu werden, dann steigt sie sehr allmälig an, verharrt scheinbar längere Zeit auf einem Maximum und kehrt ebenso allmälig zum alten Zustand zurück. Die Geschwindigkeit der Reihenfolge und Andauer dieser einzelnen Akte ist jedoch an demselben Stück aus uns unbekannten Gründen sehr wechselnd; dem Anschein nach hat, alles Andere gleichgesetzt, die Intensität des einwirkenden Erregungsmittels einen wesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Zusammenziehung und die Andauer derselben. Ed. Weber, der zuerst zeigte, dass diese Langsamkeit der Zuckung eine allgemeine Eigenschaft der glatten Muskelsubstanz sei, schlägt vor, ihre Bewegung durch den Namen der organischen von derjenigen der quergestreiften, der animalischen, zu unterscheiden.

Die Eigenschaften der zusammengezogenen Faserzellen sind nicht untersucht.

c) Der veränderliche Werth der Nutzwirkung, welchen der glatte Muskel mit der steigenden Verkürzung und Last, oder der absolute Werth derselben, den die Querschnittseinheit bei Nullverkürzung zu entwicklen vermag, ist der mangelnden Untersuchung über die Elastizität halber nicht anzugeben. — Wegen des sehr allmäligen Eintritts und Steigens der Verkürzung und der langen Dauer der letzteren auf Anwendung eines Erregers von momentaner Dauer ist der glatte Muskel unabhängig von der dauernden Anwesenheit und sich steigernden Intensität der Erreger geschickt, sehr allmälige Bewegungen mitzutheilen und constante Veränderungen in der Ortslage der bewegten Gegenstände zu erzielen. Wir werden

die Bedeutung dieser Eigenthümlichkeit im thierischen Haushalte noch an mehreren Orten zu erwähnen haben.

d) Todtenstarre. Die todtenstarre Faserzelle charakterisirt sich wie das starre quergestreifte Muskelrohr durch die Einbusse der mechanischen Leistungsfähigkeit, durch die elektrische Gleichartigkeit des Längen- und Querschnittes und durch eine grössere Steifigkeit. Siehe das Weitere bei E. Krause *).

Der Tod des Thieres führt die Bedingungen ihres Eintritts mit sich. Nach Nysten erscheint sie bei warmblütigen Thieren am Darm 45 bis 55 Minuten nach dem letzten Athemzuge und beginnt sich schon nach 24 Stunden zu lösen, Angaben die tausendfache Ausnahmen erleiden dürften.

Zur Theorie der Muskelkräfte.

1. Der Muskel entwickelt zu allen Zeiten seines lebensvollen Bestehens mancherlei Kräfte, chemische, elektrische, thermische, mechanische; die Theorie hat zuerst die Aufgabe, diese Kräfte als Resultirende aus den in den Muskeln eingetretenen elementaren Bedingungen zu entwicklen, und dann nachzuweisen, welch innerer Zusammenhang zwischen diesen Kräften selbst wieder bestehe; ob z. B. ein Theil der mechanischen Leistungen als Folge der thermischen oder elektrischen aufgefasst werden könne. — Solchen Anforderungen gegenüber erweist sich aber unser jetziger wissenschaftlicher Erwerb noch als sehr kümmerlich.

Mit einiger Sicherheit kann man die Behauptung wagen, dass die Wärmeentwicklung und die elektrischen Ströme des Muskels aus einer gemeinsamen Quelle, dem chemischen Umsatz seiner Substanz hervorgehen, weil α) diese Wirkungen häufige Folgen der chemischen Umsetzung sind; β) weil der Entwickelung dieser Kräfte im Muskel die Umsetzung wenigstens einzelner Theile desselben parallel geht und diese Umsetzung Produkte (CO_2) erzeugt, mit deren Bildung immer Wärmeentwickelung verknüpft ist. — Auf welche Art von chemischer Gruppirung der Stoffe sich aber die Elektrizitätsentwickelung und namentlich die zu verschiedenen Zeiten verschiedene Richtung und Stärke der Gegensätze der Ströme gründen, bleibt zu ermitteln den Untersuchungen zukünftiger Zeiten vorbehalten. —

Die Veränderungen der elastischen Eigenschaften, welche während der Zusammenziehung hervortreten, erläutern sich, wie schon einmal

*) De rigore mortis etc. Dorpat 1853.

erwähnt, wenn man der Vorstellung huldigt, dass im erregten Zustand nicht der ganze, sondern nur ein Theil des Muskels seine Anziehungskräfte ändert. Indem dieser Theil, z. B. die elektromotorischen Molekeln, den neuen Anziehungen durch Einnehmen einer andern Stellung Genüge zu leisten streben, setzen andere Theile des Muskels, z. B. die primitive Scheide oder eingestreute elastische Massen, welche ihre alte Anziehung behaupten, dieser Lagenveränderung einen Widerstand entgegen; wenn nun mit der fortschreitenden Lagenveränderung dieser Widerstand im Wachsen begriffen ist, und wenn er namentlich rascher wächst als die anziehenden Kräfte der Molekeln, so muss es begreiflich dahin kommen, dass die elastischen Kräfte mit steigender Verkürzung abnehmen.

Die grosse Aehnlichkeit zwischen den Muskeln und Nerven wird auch, ohne dass sie besonders hervorgehoben wurde, schon aufgefallen sein. Denn es ist bemerkenswerth, dass beide nur unter dem Bestande einer bestimmten chemischen Zusammensetzung ihre Lebenseigenschaften behaupten; dass mit der Entwickelung ihrer physiologischen Kräfte im ruhenden und thätigen Zustande chemische Umsetzungen in ihnen erfolgen, an denen sich das Sauerstoffgas betheiligt; ferner dass sie eine sehr ähnliche, wenn nicht gleichartige elektrische Constitution besitzen; endlich dass sie von denselben Erregern eine Umänderung in ihren molekularen Eigenthümlichkeiten erleiden. Darum sind aber die beiden Apparate noch nicht identisch, denn es ist zunächst ihre mechanische Constitution eine verschiedene; ferner ist die elektrische dadurch als eine von einander abweichende bezeichnet, dass den Muskeln die dipolare Anordnung (der elektrotonische Zustand) der elektrischen Molekeln nicht zukommt und endlich ist auch die chemische Zusammensetzung, wie wir aus den Hirnanalysen schliessen dürfen, eine in vieler Beziehung andere.

II. Besondere Muskelphysiologie.

In hergebrachter Weise umspannt die besondere Muskellehre die Verbindung der Muskelelemente zu Muskelmassen, und deren Verknüpfung mit Sehnen und Scheiden; dieser erste Theil der Aufgabe wird jedoch, da sich nur Weniges im Allgemeinen darüber mittheilen lässt, bei den zusammengesetzten Bewegungswerkzeugen

beiläufig Erwähnung finden; ferner die Beziehungen zwischen Muskel und Nerv und zugleich das Eingreifen der Muskelnerven in einander, und in die Seelenthätigkeiten; endlich die besondere Art der Verwendung des Muskels zum Bewegen der aus Knochen, Knorpel und Bändern zusammengesetzten Maschinen, insbesondere aber derjenigen, welche als das Rumpf-, Gliedmaassen- und Kehlkopfskelet beschrieben werden.

A. *Verknüpfung der Muskeln mit den Nerven.*

1. Verbreitung der Nervenröhren in den Muskeln*). In allen Muskeln, die einer genauen Untersuchung unterworfen wurden, hat man Nerven gefunden. Diese letzteren treten in die kürzern quergestreiften Muskeln an einer, in die längern an mehreren Stellen ein; an diesen Orten des Eintritts bilden die Nervenröhren zahlreiche Plexus und zerstreuen sich dann auf zweierlei Art durch den Muskel. Die weitaus grösste Zahl derselben und namentlich alle breitern Röhren beginnen sogleich sich vielfach zu theilen (E. Brücke, Joh. Müller, R. Wagner); diese Aeste endigen schliesslich auf der Scheide des Muskelrohrs, so weit man sehen kann, stumpf (Reichert). Nach einer genauen Beschreibung von Reichert, der einzigen, die wir besitzen, geschieht die Nervenvertheilung in einem Hautmuskel des Frosches so häufig, dass 7 bis 10 in den Muskel eintretende Nervenröhren innerhalb desselben in mindestens 290 bis 340 Aeste zerfallen. Das Lagenverhältniss dieser Aeste zu den Muskelröhren ist weder in ihrem Verlauf noch in ihrem Ende ein regelmässig wiederkehrendes, jedoch scheint es, dass mindestens einmal ein Ast mit einer Muskelröhre in Berührung kommt und dass die Längendurchmesser der Nervenäste und Muskelröhren im Allgemeinen sich häufiger kreuzen als parallel laufen. Bei niederen Thieren, z. B. Ascaris, Mermis u. A. haben Meissner und nach ihm Wedl und Walter die Nervenfasern noch weiter, als es Reichert möglich war, verfolgen können. Bei diesen verschmilzt das letzte zu einem Dreieck verbreiterte Ende der Nervenfaser geradezu mit der Muskelröhre. Obwohl der Anschein dafür ist, dass der Nerv sich geradezu in das Muskelrohr öffne, so muss diese Deutung vorerst nur als eine wahrscheinliche angesehen werden. —

*) Kölliker, Lehrbuch der mikroskop. Anatomie. II. a. 238. — Reichert, Ueber das Verhalten der Nervenfaser u. s. w. Müller's Archiv 1851. — G. Meissner, Zeitschrift für wiss. Zoologie. V. Bd. 236; ibid. VII. Bd. 26. — Walter ibid. VIII. 163. — Wedl, Wiener Sitzungsberichte. XVII. Bd. 298.

Eine geringe Zahl der in die Muskeln eintretenden Nervenröhren, nach Bidder und Volkmann 10 bis 12 p.C., gehört zu den feinern; auch sie sollen jedoch in eine geringere Zahl von Aesten zerfallen und diese Theilung soll nur sehr allmälig geschehen (Kölliker); man ist geneigt die letzteren für sensible zu halten.

2. Zahlenverhältniss zwischen Muskel- und Nervenröhren. Ausser dem Mengenverhältniss zwischen den Muskelelementen und den Aesten der Nervenröhren ist auch das zwischen den in einen Muskel eintretenden Nervenröhren und den in ihm enthaltenen Muskelschläuchen von Bedeutung; denn wie das erstere Aufschluss gibt über die Grösse der Berührungsfläche zwischen Muskel und Nerv, so bestimmt das letztere die Berührungsfläche der Muskelnerven mit dem Hirn. In Rücksicht hierauf liegen erst wenige brauchbare Untersuchungen vor; nach diesen laufen z. B. in der Bahn des n. oculomotorius 15000, in der des n. trochlearis 1100 bis 1200 und in dem n. abducens 2000 bis 2500 Röhren (Purkinje und Rosenthal); im n. medianus fand Harting*) 22500 und im n. cruralis 35400 Röhren. Erwägt man die bedeutenden Hautflächen, welche die letztern beiden Nerven neben sehr umfangreichen Muskeln versorgen, so ist ersichtlich, dass diese letzteren durch eine viel geringere Summe von Nervenröhren im Hirn vertreten sind, als die von den erstgenannten drei Nerven abhängigen.

3. Veränderung der physiologischen Zustände der Muskeln durch die Nerven. — Wenn die Muskelnerven in die Art der Erregung gerathen, welche von der negativen Schwankung ihrer elektromotorischen Molekeln begleitet wird, so rufen sie in den ihnen beigeordneten leistungsfähigen Muskeln Veränderungen hervor. Diese Veränderungen sind ihrer Natur nach verschiedene, ja scheinbar entgegengesetzte, denn es kann, ganz allgemein betrachtet, der erregte Nerv ebensowohl die der Verlängerung, als die der Verkürzung zu Grunde liegende Anordnung der Muskelmolekeln bedingen. Dieser Ausspruch ist jedoch dahin einzuschränken, dass ein und derselbe in Erregung befindliche Nerv nicht beliebig seine zugehörigen Muskeln verlängern oder verkürzen könne, sondern dass ein Nerv seine zugehörigen Muskeln entweder nur verkürzen oder nur verlängern kann; gesetzt aber es kann ein Nerv seine zugehörigen Muskeln auch auf beide Arten verändern, so kann er

*) Recherches micrometriques. Utrecht 1845.

doch immer nur ein und denselben Zustand bedingen, wofern der Ort des Nerven, an welchem die Erregungsmittel angebracht sind, derselbe bleibt.

a) Verkürzung des Muskels durch den erregten Nerven. — Bei weitem die überwiegende Zahl der Muskelnerven verkürzt ihre zugehörigen Muskeln, wenn sie erregt wird, gleichgiltig an welchem Orte ihres Verlaufes die Mittel wirken, welche sie in Erregung brachten. — Nachdem wir schon früher dieses Verhalten der Muskelnerven kennen lernten, bleibt uns hier noch übrig zu untersuchen: ob die Nerven unter allen Erregern einzig und allein im Stande sind, die im ruhigen Muskel vorhandenen Bedingungen so umzuändern, dass sich derselbe verkürze.

Der Gedanke, dass die Erreger nicht direkt, sondern nur durch Vermittlung der Nerven den Muskel zur Zusammenziehung bringen, musste entstehen, weil dieselben Erreger, die auf den Muskel angewendet, die Zusammenziehung veranlassen, auch dasselbe vermittelst alleinigen Anspruchs der Nerven leisten, und weil man, indem man den Muskel als Erregungsort wählt, auch jedesmal den Nerven mit in Angriff nimmt, wegen der innigen Verflechtung von Nerv und Muskel. — Das Interesse, was sich an die Bestätigung oder Widerlegung dieser Vorstellung knüpft, wird ein sehr weitgreifendes, wenn sich, wie geschehen, zugleich an dieselbe die Frage anreiht, ob überhaupt die Gegenwart der Nerven eine nothwendige Bedingung für die Zusammenziehung resp. das lebensvolle Bestehen des Muskels sei. In diesem weiteren Sinne gefasst kann die Streitfrage nur entschieden werden α) wenn es gelingt, eine Zuckung zu erhalten von einem Muskel, der keine Nerven enthält, oder dessen Nerven bis an seine äussersten Spitzen funktionell vernichtet sind; β) wenn es möglich ist eine Zuckung durch ein Mittel zu erhalten, das den Nerven auf jedem beliebigen Ort seines Verlaufs niemals in Erregung versetzt; γ) oder wenn sich aus den Eigenthümlichkeiten des Nerven und des Muskels der Nachweiss liefern lässt, dass die Nerven zum lebensvollen Bestehen des Muskels nothwendig oder ihm unnöthig sind, da nur in diesem Falle ein negatives Resultat der unter α und β angedeuteten Versuchsreihen einen allgemein giltigen Charakter annehmen würde. — Da die Mittel zur tadelfreien Ausführuug der bemerkten Versuche fehlen, so ist unser seit mehr als einem Jahrhundert geführte Streit noch zu keinem Ende gebracht worden; wahrscheinlich ist es aber, dass die Erregung des Nerven nur einen der mannigfachen Umstände

darstellt, durch welche der Muskel zur Zusammenziehung veranlasst werden kann. Denn es stimmen die Nerven und Muskeln in so vielen Eigenschaften überein und namentlich zeigen sie durch die gleiche Gruppirung ihrer elektromotorisch wirksamen Theile in der Ruhe und Thätigkeit so viel Analogie, dass die Annahme nahe liegt, es möchten beide Apparate auch gegen dieselben Erreger sich vollkommen gleich oder mindestens sehr analog verhalten, so dass damit erklärt wäre, warum meist dieselben Einflüsse im Nerven und im Muskel die negative Stromesschwankung erzeugen. Noch mehr aber spricht für die Selbstständigkeit der Muskeln die Thatsache, dass es gelingt, entweder geradezu Zuckungen oder wenigstens Zustände in ihnen zu erzeugen, die, wie es scheint, denen der Zusammenziehung sehr ähnlich sind, ohne dass zugleich die Nerven in eine nachweissliche Erregung kommen. Hierzu zählt, dass ein Muskel, dessen zugehörige Nervenstämme vollkommen abgestorben sind, durch die Berührung mit destillirtem Wasser in wohlcharakterisirte Zuckungen kommt, obwohl ein so beschaffenes Wasser keinen Ort des Nerven, an dem es dem letzteren allein zugängig ist, in den zuckungserzeugenden Zustand versetzt (Wittich *)). Beachtung verdient von diesem Gesichtspunkt aus auch die noch näher zu untersuchende Wärmestarre.

Wir führen nun noch eine Reihe von Versuchen auf, die zu keinem sichern Resultate führen konnten, weil die zu Grunde liegende Methode eine mangelhafte ist, sie beruhen sämmtlich auf dem Prinzip den Nerven bei der Erregung zu eliminiren. 1. Man stellte sich die Aufgabe: Muskeln in Zusammenziehung zu versetzen, von welchen man die Annahme machte, dass sie überhaupt keine Nerven enthielten. — a) Zu dem Behuf suchte man an mikroskopischen Muskelstücken, in denen man keinen Nerven nachweisen konnte, Zusammenziehung zu veranlassen. Gelang dieses, so widerlegte es die Hypothese der nothwendigen Gegenwart der Nerven nicht, weil bei der Schwierigkeit der Beobachtung niemals mit Sicherheit die Abwesenheit aller Nerven behauptet werden kann; misslang es den Muskel in Zusammenziehung zu bringen, so stützte dieses die Hypothese nicht, weil sehr kleine Muskelstücke ihre Lebenseigenschaften sehr schnell einbüssen **). — b) Oder man suchte Muskelpartien in einer Zeit ihrer Entwickelung auf, in denen sie Beweglichkeit besitzen, ohne dass schon Nerven in ihnen nachgewiesen werden konnten (R. Wagner ***)). Zu diesen Muskeln gehört u. A. das Herz des Hühnerembryo, das am zweiten Tag der Bebrütung das rhythmische Spiel seiner Bewegungen beginnt, zu einer Zeit, wo das Nervensystem überhaupt noch durchaus keine den spätern analogen Formelemente darbietet; diese und ähnliche Versuche sind darum beweisunkräftig, weil in jener Zeit auch die Muskeln noch nicht aus Muskelröhren zusammengesetzt sind. — 2. Man suchte Muskeln in Zusammenziehung zu bringen,

*) Wittich, Experimenta quaedam ad Halleri doctrinam etc. Königsberg 1857.
**) S. hierüber besonders R. Wagner, Gött. gel. Anzeigen 1851. Nr. 14.
***) Göttinger gelehrte Anzeigen 1940. N. 15.

deren zugehörige Nerven ihre Erregbarkeit vorübergehend oder für immer eingebüsst haben sollten. Hierher sind zu rechnen: a) die Beobachtung an den Nerven und Muskeln der Verdauungswerkzeuge; die Muskelhäute dieser Apparate können zu Zeiten nur durch direkte Einwirkung der Erreger auf die Muskeln, zu andern aber auch durch eine solche auf die Nerven zur Verkürzung gebracht werden. b) Kurz vor dem vollkommenen Absterben der Muskeln sind dieselben nicht mehr von den ihnen zugehörigen Nerven aus, sondern nur durch unmittelbare Ansprache zu verkürzen (Harless, Schiff). c) Ferner die sehr zahlreich von Fontana, J. Müller, Sticker, Nasse, Stannius, Longet u. A. ausgeführten Versuchsreihen. Diese fussen auf der Beobachtung, dass die Nervenröhren, welche von dem zugehörigen Centralorgane (Hirn oder Rückenmark) getrennt sind, in den Stücken ihres Verlaufs, der in dem Nervenstamme geschieht, ihre Erregbarkeit sehr rasch einbüssen, bei Säugethieren gewöhnliceh nach 4 Tagen, während der Muskel seine Leistungsfähigkeit immer 6 bis 12 Wochen bewahrt. Als ein constantes Resultat dieser Versuche ergab sich also, dass wenige Tage nach Durchschneidung eines Nerven die Muskeln von dem mit ihm in Verbindung stehenden Stumpf des ersteren nicht mehr in Verkürzung gebracht werden konnten, während der Muskel durch unmittelbare Einwirkung der Erreger noch nach Wochen und Monaten in Zusammenziehung kam. — Allen bisher unter dieser Nummer verzeichneten Versuchen kann der vorerst nicht wegzuräumende Einwand entgegengesetzt werden, dass die Nerven wohl im Verlauf durch den Stamm, nicht aber innerhalb der Muskeln selbst ihre Erregbarkeit eingebüsst haben mögen. Dieser Einwurf gewinnt an Stärke im Hinblick auf das Valli-Ritter'sche Gesetz des Absterbens motorischer Nerven von dem Centralorgane zu der peripherischen Ausbreitung (v. p. 141). Vielleicht liesse sich jetzt, seitdem man die Nervenendigungen in den Muskeln kennt, feststellen, ob die Nerven innerhalb derselben bei dem unter c erwähnten Versuch ähnliche Strukturveränderungen erlitten haben, als in den Stämmen. Damit würde der gegen ihn erhobene Einwurf beseitigt sein. — d) Durch Vergiftung eines Thieres mit Curare werden die motorischen Nerven desselben gelähmt, so dass während der Erregung der Stämme die zugehörigen Muskeln nicht mehr in Verkürzung kommen; diese tritt jedoch ein, wenn die Reize auf den Muskel selbst wirken (Cl. Bernard). Da man auch diesem Versuch den Einwand machte, dass die Nerven innerhalb des Muskels ihre Erregbarkeit erhielten, so modifizirte ihn Kölliker*) sinnreich dahin, dass er einen Muskel eines Frosches (m. gastrocnemius) nur noch durch die Nerven mit dem sonst unversehrten Thier in Verbindung liess, und dieses darauf vergiftete. Wenn in diesem Fall die Nervenenden länger erregbar bleiben, dagegen die Stämme rascher absterben, so müsste während der Erregung des plex. ischiadic. auch der vom Blutstrom befreite gastrocnemius in Ruhe verharren; wenn dagegen die Stämme später als die im Muskel sich verbreitenden Aeste ihre Erregbarkeit einbüssten, so muss umgekehrt während der Reizung des genannten plexus der gastrocnemius sich bewegen, während alle übrigen Muskeln den ausgedehnten Zustand beibehalten. Der letzte Erfolg trat in der That ein. Dieser Versuch würde demnach entschieden für die Möglichkeit eine Verkürzung des Muskels ohne Zuthun der Nerven sprechen, wenn nicht immer noch der Einwand bliebe, dass die allerletzten Enden des Nerven doch nicht gelähmt gewesen wären, sondern nur die gröberen im Muskel vertheilten Aeste (Kölliker). Zu dieser scheinbaren Spitzfindigkeit lädt aber ein — e) Ein Versuch von Eckhard **). Schickt

*) Virchow, Archiv für pathol. Anatomie. X. Bd. 1.
**) Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Giesen 1855.

man nach ihn aufsteigend einen constanten elektrischen Strom durch einen Muskelnerven, durch welchen, wie wir erfuhren, (p. 128) seine Erregbarkeit vorübergehend ausgelöscht wird, so bewirkt ein Reiz, der auf den Muskel angebracht wird, auch keine Zuckung mehr in diesem; es ist also auch die Erregbarkeit des Muskels während der Dauer des constanten Stromes im Nerven erloschen. Eckhard macht sich, indem er den Versuch als einen Gegenbeweis für die Unabhängigkeit der Muskelzusammenziehung vom Nerven ansieht, selbst den schwer zu beseitigenden Einwand, dass möglicher Weise der hier vorhandene eigenthümliche Zustand der Nerven (Electrotonus) auch eine eigenthümliche Anordnung in den Muskelmolekeln erzeugt habe, vermöge deren sie ähnlich wie der Nerv vorübergehend gelähmt sind. — 3. Man suchte endlich die Erregung des Muskels auf sehr kleine Räume zu beschränken, und dann aus der Zergliederung der eintretenden Verkürzungen den Beweis zu giehen, dass der Muskel ohne Zuthun der Nerven in Verkürzung gerathen sei (Wild, Ludwig). Streift man z. B. mit einer fein geschärften Holzkante (einem Scalpellstiel) über den Magen eines eben getödteten Thiers, so kann man beliebige Formen und Ausbreitungen der Zusammenziehung erzeugen; man findet diese Thatsache in einem scheinbaren Widerspruch mit der durch die Nervenerregung erzeugten Zusammenziehung, da diese sich immer erstrecken müsste über das ganze Gebiet, welches dem erregenden Nerven unterthan ist. Der Thatsache fehlt aber zum Beweis die Kenntniss der Vertheilung der Nerven in dem Magen — respective Darmmuskeln.

b) Verlängerung des Muskels durch den erregten Nerven. Eine geringe Zahl von Nervenröhren bringt überraschender Weise, wenn sie erregt wird, die von ihnen versorgten Muskeln zur Ruhe, wenn sie bei Beginn der Nervenerregung verkürzt waren. Als unzweifelhafte Beispiele für diese Art des Zusammenhangs zwischen Nerven und Muskeln dient das von Ed. Weber (und Budge?) entdeckte Verhältniss zwischen dem n. vagus und der Herzmuskulatur und das von Pflüger beobachtete zwischen n. splanchnicus und den Muskeln des Dünndarms. Erregt man den ersteren Nerven vor seinem Eintritt in das Herz, so folgen die Schläge dieses letztern in grössern Zwischenräumen als vorher, so dass das Herz oft minutenlang in der Erweiterung stille steht, und umgekehrt durchschneidet man den n. vagus, womit die Ausbreitung des Nerven im Herzen dem Hirneinfluss entzogen ist, so mehrt sich die Zahl der Herzschläge in einer ausserordentlichen Weise. Diese Erfahrung bedeutet aber genauer ausgedrückt eigentlich etwas anderes als das, was wir vorhin aus ihr folgerten; denn offenbar berechtigt sie nur zu dem Ausspruch, dass der erregte n. vagus ein die Zusammenziehung des Herzens veranlassendes Moment wegzuräumen im Stande sei. Dieser Ausspruch schliesst, wie ersichtlich, die Nothwendigkeit der Annahme gar nicht in sich, dass der Nerv geradezu auf den Muskel wirke. In Uebereinstimmung hiermit steht die Thatsache, dass der n. vagus vor seiner Einsenkung in

die Muskeln mit zahlreichen Ganglienkugeln belegt ist, und dass der Nerv, wenn er jenseits der Stellen, in denen er von dieser Masse umgeben ist, erregt wird, die beschleunigte Zusammenziehung des Herzens veranlasst (Hoffa, Ludwig). Man darf hieraus mit einiger Wahrscheinlichkeit schliessen, dass der Nerv, indem er das Herz beruhigt, nicht auf die Muskeln, sondern auf die Ganglienkugeln wirkt. — Aehnliches gilt vom n. splanchnicus und den Darmganglien.

Eine grössere Reihe anderer Beispiele, die man meist mit dem eben besprochenen Fall zusammenstellt, ist noch zu dunkel, als dass sie schon einer genaueren Erwägung unterworfen werden könnte. Hierher gehört: dass eine durch Reflex eingeleitete Bewegung von dem Willen unterdrückt werden kann, wie z. B. die Zusammenziehung des m. orbicularis palpebrarum, wenn ein Schlag gegen das Auge geführt wird; ferner vermuthet mit Wahrscheinlichkeit Kölliker*), dass die Erektion des penis durch eine von der Nervenerregung eingeleitete Erschlaffung der cavernosen Muskeln ermöglicht werde u. s. w. Da man in diesen Beispielen nicht einmal den erregenden Einfluss kennt, so wäre es gedenkbar, dass hier dieser selbst ein anderer wäre, in Folge dessen möglicher Weise die Nerven in einen von der gewöhnlichen Erregung abweichenden Zustand kämen. Siehe hierüber noch Reflexbewegung und Willenshemmung.

Eine Hypothese über das Zustandekommen der Wechselwirkung zwischen Muskeln und Nerven, welche in Uebereinstimmung mit den bekannten Thatsachen sich befindet, ist nicht aufgestellt.

Durch die du Bois'schen Untersuchungen sind wir aber der Hoffnung auf eine solche sehr viel näher getreten, und es lassen sich jetzt schon aus der von ihm entdeckten gleichartigen elektrischen Constitution des Nerven und Muskels mancherlei Vorstellungen, wie über die Weiterleitung der Erregung innerhalb des Nerven, so auch über die Uebertragung der Erregung aus dem Nerven in den Muskel bilden. Dennoch scheint es gerathener, nicht in's Nähere derselben einzugehen, bevor sie einer genaueren Prüfung unterworfen sind.

4. Anordnung der Muskelnerven im Hirn und Rückenmark. Unzweifelhaft sind in dem Hirn und Rückenmark die Muskelnerven durch irgend welchen Mechanismus in eine solche Beziehung zueinander gebracht, vermöge welcher eine einfache räumlich und zeitlich beschränkte Erregung eine räumlich und zeitlich geordnete Bewegung zu erzeugen vermag. Diese Behauptung ist nichts anderes als der Ausdruck der Thatsachen, dass auf eine vorübergehende Erregung eines sensiblen Nerven die complizirten Muskelakte des Hustens, Niesens, Schlingens u. s. f. eintreten; ferner dass die Seele, wenn sie in Leidenschaften befangen ist, wo ihr die Fähigkeit abgeht, mit Bewusstsein die Muskeln zu geordneten Bewegungen zu verknüpfen, unbewusst einzelne Muskelgruppen in geordneter Weise anregt, die wir gewöhnlich als die leidenschaftlichen Aus-

*) Verhandlungen der physik. med. Gesellschaft in Würzburg. II. Nr. 8 u. 9.

drücke des Schmerzes, der Freude, des Zorns u. s. w. bezeichnen; ferner dass die Seele die Bewegungen gewisser Muskeln nicht trennen kann, wie die der Augenmuskeln, des Cirkelmuskels der Iris und des m. rectus internus bulbi, die Heber und Senker des Zungenbeins, die beiderseitig entsprechend gelegenen Muskel im Gaumensegel, larynx, pharynx, perinaeum u. s. w. Diese Verknüpfung bezieht sich aber nicht allein auf ein räumliches Nebeneinander, sondern auch auf die zeitliche Reihenfolge, da, wie wir wissen, durch einen momentan wirksamen Willenseinfluss, oder auf reflektorischem Wege durch einen kräftigen, aber vorübergehenden sensiblen Eindruck eine Bewegung erzeugt werden kann, welche aus einzelnen allmälig sich abwickelnden Akten besteht; Beispiele dafür bieten die auf willkürliche Anregung des Schlundkopfs eingeleiteten peristaltischen Bewegungen der Speiseröhre u. s. w.

Die Gewissheit, dass diese Ordnung der Bewegung abhängig sei von den Nervenmassen im Hirn und Rückenmark, gibt uns die Erfahrung, dass nach theilweisen oder gänzlichen Zerstörungen dieser letzteren den Muskeln die Fähigkeit ein und für allemal fehlt, sich in der angegebenen Weise zu combiniren.

Auf welche Weise diese Anordnung ausgeführt wurde, ist unbekannt. Hindeutungen auf die Art des Zustandekommens dieser Verknüpfung liegen jedoch darin, dass derselbe Muskel aus verschiedenen Wurzeln Nervenröhren empfängt; ferner dass aus annähernd gleichen Orten des Hirns und Rückenmarks die Nerven abgehen, welche sich zu den Muskeln begeben, die an einer Gruppe von Bewegungen betheiligt sind; und endlich dass Muskeln, welche in sehr vielfachen Verbindungen mit andern auftreten, auch stärkere Nervenstämme in sich zur Verbreitung bringen. Ueber das Einzelne der Einrichtung dieser Bewegungsordner sind wir dagegen noch vollständig ohne Kenntnisse. Schon bei der Betrachtung der Reflexbewegung wurde hervorgehoben, dass man sie sich nicht als eine einfache, räumliche Gruppirung der Nervenröhren zu denken habe.

5. Veränderungen der Empfindugsorgane durch die Muskeln oder Muskelnerven. Muskelsinn *). Die Mittheilungen, welche der Seele vom jeweiligen Zustande der Muskeln zukommen, äussern sich unter verschiedenen Formen.

a) Alle der Willkür unterworfenen Muskeln bringen das Bestehen und den Grad ihrer Zusammenziehung zum Bewusstsein

*) E. H. Weber, Tastsinn in Wagner's Handwörterbuch III. b. — Derselbe, Raumsinn. Leipziger akad. Berichte 1853.

ohne jegliche Empfindung innerhalb der bewegten Muskeln. Dieses Bewusstsein äussert sich entweder unmittelbar als Vorstellung von der Stellung der Glieder, oder noch häufiger als eine Modifikation unserer aus anderweitigen Erfahrungen gezogenen Urtheile. — Solche Erscheinungen finden sich ausgesprochen

Im Tastsinn. α) Die Form eines Körpers wird uns nur dann zur Vorstellung, wenn wir mit den beweglichen Gliedern, die mit tastenden Flächen begabt sind, die Form umgreifen. Dass hier die Muskelbewegung das Urtheil der Form wesentlich bedingt, ergibt sich sogleich von selbst, wenn man bedenkt, dass den tastenden Flächen beim Umgreifen eines Cylinders, Viereckes etc., z. B. den Fingerspitzen, kein Unterschied in der Empfindung zu Theil werden kann, je nach der Richtung der betasteten Fläche. — β) Wir beurtheilen aus unseren Bewegungen und aus dem veränderlichen Drucke, welchen tastende Flächen von widerstandleistenden Körpern erfahren, die Richtung, in welcher ein Widerstand oder ein Zug auf unsern Organismus wirkt; so z. B. aus Bewegungen des Kopfes die Zugrichtung, welche auf unsere Haare ausgeübt wird (E. H. Weber). — γ) Wir schätzen die verschiedene Länge der in der Hand u. s. w. gehaltenen und gegen eine unbewegliche Unterlage festgestemmten Gegenstände aus dem Umfang der Muskelzusammenziehung, die nothwendig ist, um sie um gleiche Winkel in ein und derselben Ebene zu drehen etc.

Im Gesichtssinn. α) Zur Bildung eines Urtheils über die Stellung der gesehenen Gegenstände zum Horizont hilft die Vorstellung von der Lage des Rumpfes und Kopfes, wie dies unwiderleglich dadurch bewiesen wird, dass dieselben Netzhautfasern, die von einem Nachbild eingenommen sind, uns beim Aufrechtstehen des Kopfes senkrecht und beim Biegen des Kopfes wagrecht gelagert erscheinen (Rüte). — β) Die scheinbare Grösse des gesehenen Objekts ist zum Theil abhängig von dem Zustande der Accommodationsmuskeln, wie daraus erwiesen ist, dass genau dieselbe Netzhautfläche sehr verschiedene Vorstellungen von ihrer Grösse erweckt, je nachdem man das Auge auf einen fernen oder einen nahen Gegenstand eingestellt hat, wie aus dem instruktiven Versuche p. 334 hervorgeht. — γ) Wir beurtheilen die Entfernung eines Gegenstandes aus dem Grad der Zusammenziehung und der Art der Verbindung, in welcher sich die einzelnen Augenmuskeln befinden; wie daraus hervorgeht, dass wir denselben Gegenstand, wenn auch seine absolute Entfernung von der Netzhaut nicht verändert wird, in sehr verschiedenen Entfernungen sehen können, je nachdem wir denselben

mit mehr oder weniger convergirenden Augen betrachten (H. Meyer). δ) Die Bewegung eines gesehenen Gegenstandes schätzen wir endlich aus der Bewegung unserer Augen, der des Kopfes und Rumpfes, und der gleichzeitigen Bewegung des Bildes über die Retina, wie unzweifelhaft die Thatsache erweist, dass ein Gegenstand uns ruhend oder bewegt erscheint, je nachdem sein Bild über die Retina geführt wird, während einer selbstständigen Bewegung des Rumpfes, Kopfes oder Auges, oder während Rumpf, Kopf und Auge ohne Hinzuthun der ihnen zugehörigen Muskeln weitergeschoben werden.

Gefühl des Gleichgewichtes, Schwindel. Aus dieser stetigen Einwirkung der Muskeln auf das Hirn scheint auch das Bewusstsein des Gleichgewichtes hervorzugehen; es möchte wenigstens schwer sein, dieses eigenthümliche, unwillkürliche Bestreben anders zu erläutern, in Folge dessen bei einer Verrückung des Schwerpunktes unseres Rumpfes jedesmal eine Bewegung zur neuen Unterstützung desselben unternommen wird (Purkinje *), Henle).

Endlich wird durch das Bewusstsein von dem Grad der Muskelspannung die Fähigkeit bedingt, Gewichte ihrer Grösse nach zu schätzen. Dieses Vermögen ist von allen den erwähnten dasjenige, welches einer genauen Untersuchung, und zwar durch E. H. Weber unterworfen worden ist. Um die Schätzung der Gewichte, wie sie aus dem Druck auf die Hautnerven geschieht, nicht einwirken zu lassen, liess er die Hand ein mit Gewichten beschwertes Tuch fassen, so dass kein Druck von Seiten des Gewichtes auf die Haut der Hand ausgeübt, sondern das Tuch nur durch Reibung festgehalten wurde; in allen Fällen wurde das Tuch möglichst fest zwischen die Hautflächen gedrückt, viel fester als nöthig, um dasselbe zu halten. Selbst ungeübte Personen konnten dann noch aus zwei Gewichten, von denen das eine 78, das andere 80 Unzen betrug, das leichtere aussuchen.

b) Die Muskeln, gleichgiltig ob sie der Willkür unterworfen, oder ihr nicht unterworfen sind, erzeugen unter bestimmten Umständen und zwar meist entweder während des Bestehens (langdauernder oder heftiger) Zuzammenziehungen, oder auch im unmittelbaren Gefolge ihres Nachlasses Empfindungen, die mit dem ganz bestimmten Bewusstsein vom Orte der Empfindung begleitet sind.

Diese Empfindungen sind ebenfalls von E. H. Weber genauer untersucht. Während die Muskeln auf Brennen und Schneiden etc.

*) Med. Jahrbücher d. östr. Kaiserstaats. 1820. 2. Stück p. 79. — Rust, Magazin 1825. Bd. 23. p. 284.

kaum eine Empfindung geben, erwecken sie einen fast unerträglichen Schmerz durch sehr intensive Zusammenziehung (z. B. beim Wadenkrampf), oder wenn sie sehr lange, selbst in sehr mässiger Zusammenziehung erhalten wurden (Ermüdung). In diesem letzten Fall überdauert der Schmerz die Zusammenziehung oft sehr lange Zeit. Diese Empfindung tritt auch in den unwillkürlich beweglichen Muskeln wie in denen der Därme, dem Uterus, vielleicht in der Contraktion des Magens (als Hunger?) oder der glatten Muskelfasern der cutis (als Ameisenkriechen, Kitzeln u. dgl.) ein.

c) Es scheint, als ob einige Muskeln im Stande wären (vermittelst der Nerven), dem verlängerten Mark oder andern Hirntheilen durch den Zustand der Zusammenziehung Erregungen mitzutheilen, welche Reflexbewegungen in andern Muskeln auslössten. Diese Fälle scheinen selten zu sein und ihre Erklärung steht noch nicht ganz fest, wir verweisen auf die Schlund- und Darmbewegung bei der Lehre von der Verdauung.

Ob die Nerven, die dem Muskelsinne dienen, und diejenigen, welche die Muskelbewegung veranlassen, dieselben sind, ist gegenwärtig schwer zu entscheiden *). Es wäre denkbar und nicht unwahrscheinlich, dass alle Einflüsse, welche durch willkürliche Nerven auf unsere Vorstellungen und sinnlichen Urtheile ausgeübt werden, sogleich durch den Akt der willkürlichen Erregung geschehen, so dass die Willensanstrengung nach einer oder der andern Richtung hin als ein Element in unser Urtheil aufgenommen würde. Diese Meinung findet ihre Stütze darin, dass die das Urtheil bestimmenden Bewegungen in den überwiegend meisten Fällen gar nicht als Muskel-Empfindungen auftreten. — Anderseits ist es dagegen wahrscheinlich, dass die Muskelgefühle und Muskelschmerzen den sensiblen Nervenröhren ihren Ursprung verdanken, weil 1. fast allen ursprünglich nur motorischen Nervenwurzeln auf ihrem Weg zu den Muskeln sensible beigemengt werden; so den n. n. facialis, oculomotorius, hypoglossus u. s. w.; 2. weil man in unwillkürlich beweglichen Muskeln ebenso heftige Schmerzen empfindet, als in willkürlich beweglichen; 3. weil selbst die heftigsten Erregungsmittel auf die mit dem Rückenmark und Hirn in Verbindung stehenden vordern oder motorischen Nervenwurzeln angewendet keinen Schmerz erzeugen (Bell'sches Gesetz); 4. weil endlich die nach dauernden Anstrengungen in den Muskeln entstehenden Schmerzen

*) Spiess, Physiologie des Nervensystems. Braunschweig 1844. p. 76.

noch Stunden und selbst Tage lang nach dem Aufhören der Erregung motorischer Nerven bestehen. Das Unternehmen, eine solche Wirkung als Nachempfindung zu deuten, möchte schwer seine Rechtfertigung in der Analogie finden; das Phänomen erläutert sich dagegen einfach, wenn man annimmt, dass die Schmerzen durch Erregungsmittel bedingt werden, die aus der chemischen Destruktion der Muskeln hervorgehen, und die auf die in den Muskeln vorhandenen sensiblen Nerven wirken. Solche Destruktionen sind nun aber bekanntlich immer die Folgen anhaltender Bewegung.

Gegen diese Reihe von Gründen lässt sich nur geltend machen, dass auch die Muskeln auf Angriffe, als Zerschneiden, Brennen etc., die sonst in sensiblen Nerven sehr lebhafte Schmerzen erwecken, nie oder selten mit Schmerzensäusserungen antworten. Dieser Einwand ist aber nicht einmal bindend, weil auch viele andere nachweisslich sensible Flächen (Magenfläche, Speiseröhre u. s. w.) erst schmerzen, wenn die wenigen in ihnen enthaltenen sensiblen Nervenröhren in ganz besondern Erregbarkeitszuständen übergeführt sind.

Die Verbindungen der Muskeln mit den besondern Erregungsquellen, und namentlich mit den Organen des Willens, der automatischen Erregung und der reflektorischen Uebertragung würden nun zu behandeln sein. Rücksichtlich der Stellung der Muskelnerven zum Willen verweisen wir auf Seelenwirkung; den kärglichen Betrachtungen über Reflex und Automatie, die wir schon gaben, ist nichts weiter zuzufügen.

B. Das Skelet mit seinen Muskeln.

Die folgende Betrachtung fasst das Skelet mit seinen Muskeln einzig von dem mechanischen Gesichtspunkt auf. In diesem Sinne stellt es ein Bewegungswerkzeug dar, das sich aus trägen, empfangene Bewegung übertragenden (Knochen, Knorpelgebilden, Bänder, Sehnen) und aus lebendigen, freie Kräfte erzeugenden Massen (Muskeln) zusammensetzt; oder nach einer andern Seite hin ausgedrückt, das Skelet ist eine mannigfache Zusammenordnung zahlreicher Hebel, welche von den zwischen liegenden Muskeln bewegt werden.

Mit Hilfe der bekannten mechanischen Prinzipien würde das Skelet und seine Bewegungen vollkommen zu verstehen sein, man würde eben so leicht jede noch so complizirte Leistung desselben aus ihren einfachen Bedingungen erläutern können, als man auch alle seine Verrichtungen im Voraus zu bestimmen im Stande wäre, wenn die mechanischen Eigenschaften desselben aufgedeckt sein

würden. Zu diesen wäre aber zu zählen, 1. die Festigkeit, die Elastizität und das spezifische Gewicht des Baumaterials sämmtlicher träger und lebendiger Theile; 2. die Form und das Gewicht der Hebel; die Lage der Stütz- und Angriffspunkte der Kräfte an ihnen; 3. die Verbindungen der Hebel unter einander, insbesondere die Art, die Festigkeit und die Beweglichkeit derselben; 4. die Kraft und die Richtung, mit welcher die Muskeln gegen die einzelnen Angriffspunkte angehen, und in welcher Ausdehnung sie sich verkürzen.

Unternimmt man nun den Versuch, von diesem Gesichtspunkte aus die Darstellung des Skelets durchzuführen, so gewahrt man bald, dass ihm von Seiten der Anatomen fast noch nirgends vorgearbeitet ist; sie beschreiben fast überall statt der wesentlichen die unwesentlichen Dinge. Darum ist es auch vollkommen unmöglich, die inhaltreichsten Fragen einer Beantwortung entgegenzuführen, z. B. die nach der Harmonie des Skelets mit den übrigen Körperbestandtheilen, warum gerade diese und keine anderen mechanischen Prinzipien für den Aufbau des Skelets verwandt werden mussten, bei der gegebenen Leistung der Verdauungskräfte, des Herzens und der von dem Skelet zu liefernden Arbeit; ferner die Ableitung der Grenzen, innerhalb der sich das Volum eines Skelettheils mindern oder mehren darf, wenn einer der übrigen Skelettheile gegeben ist; ferner durch welche Mittel ein, z. B. durch Krankheit ausfallender Theil compensirt wird und wie weit diese Vertretung möglich; welche Muskeln und Nerven einzelne Bewegungen hervorrufen können u. s. f. u. s. f.

Baumittel des Skelets.

Die Formen der trägen Skeletbestandtheile sind dargestellt aus Knorpel-, Knochen- und Bandmasse.

Die Knochenmasse verdankt im mechanischen Bezuge ihre wichtigsten Eigenschaften dem Umstand, dass in ein elastisches, von Wasser durchtränkbares Grundgewebe eine kalkartige, nicht oxydirbare Masse inkrustirt ist in gerade hinreichender Menge, um dieser einen hohen Grad von Steifheit und Festigkeit zu geben, so dass sie die Eigenthümlichkeit der Metalle und der Steine verbindet. — Eine Bestimmung des Coeffizienten der Federkraft und Festigkeit der Knochensubstanz überhaupt ist mit den bisher benützten Methoden nicht möglich.

Die Festigkeit und Federkraft der Knochenmasse muss, wie aus der Natur der Sache hervorgeht, mit der Zusammensetzung, und noch mehr mit dem Gehalt an Mark-

kanälchen, Knochenhöhlen u. s. w. wechseln; die beiden Eigenschaften müssten darum als Funktionen dieser Bedingungen bestimmt werden. Die Untersuchungen von Wertheim*) sind nur von Bedeutung, insofern sie zeigen, dass im Allgemeinen bei Anhängen von Gewichten an möglichst gleichartige Knochenstreifen die Verlängerungen direkt proportional mit der Vermehrung der Gewichte steigen; dass in der Knochenmasse des Waden- und Schenkelbeins der absolute Werth des Elastizitätscoeffizienten mit dem Alter steigt und endlich, dass weder der Elastizitäts- noch der Cohäsionsmodul in einfacher Beziehung zu dem spezifischen Gewicht des Knochens steht. Die Wertheim'sche Untersuchung ergab:

Knochenstreifen.	Geschlecht.	Alter.	spec. Gewicht.	Elast.-Coeff.	Festigkeit.
des femur . .	weiblich	21 Jahr	1,968	2181	6,87
- perone . .	weiblich	21 -	1,940	2710	10,26
- femur . .	männlich	30 -	1,984	1819	10,50
- perone . .	männlich	30 -	1,997	2059	15,03
- femur . .	weiblich	60 -	1,849	2421	6,40
- perone . .	weiblich	60 -	1,799	—	3,30
- femur . .	männlich	74 -	1,987	2838	7,30
- perone . .	männlich	74 -	1,947	—	4,33

In dieser Tabelle bedeutet die Festigkeit das Gewicht in Kilogrammen, welches nöthig war, um ein □ mm. Substanz zum Zerreissen zu bringen. Alle übrigen Zahlen und Bezeichnungen sind für sich verständlich.

Das Gewebe der Knorpel zeichnet sich vor dem der Knochen durch Biegsamkeit aus; neben dieser Biegsamkeit zeigt es jedoch eine grosse Zähigkeit, welche aber namentlich in einzelnen Richtungen grösser als in andern ist. Einen besondern Charakter erhält es noch durch die zahlreichen mit incompressibler Flüssigkeit erfüllten Höhlen, welche zwischen seine festen Massen gelagert sind. Allgemeingiltige Cohäsions- und Elastizitätsmoduli sind aus ähnlichem Grunde wie bei den Knochen nicht bestimmbar.

Zur Bildung den Bandmassen sind bekanntlich verschiedene Elementargebilde benutzt; namentlich gibt es elastische, Bindegewebs- und Fett-Bänder; von allgemeinerer Wichtigkeit sind Bindegewebs- und elastische Bänder vorzüglich dadurch, dass sie bei niedern Spannungsgraden sehr dehnbar, bei höheren dagegen sehr steif sind, und ferner dadurch, dass sie bei ihrer grossen Dehnbarkeit eine ausserordentliche Festigkeit besitzen.

Form der Knochen.

Die Form besitzt Antheil an der Bestimmung der Widerstandsfähigkeit der Knochenmasse; ferner an der Richtung, Art und

*) Annal. de chim. et physiq. XXI. 1847.

Ausdehnung der Beweglichkeit der Knochen aneinander; ferner an der Wirkung des auf sie ausgeübten Muskelzuges, vornehmlich ob dieser letztere Druck oder Bewegung erzeuge; ferner welchen Umfang und welche Geschwindigkeit die auf den Knochen übertragene Bewegung gewinne.

Ein und derselbe Stoss wird den Zusammenhang derselben Masse je nach ihrer Vertheilung im Raume zu lösen oder nicht zu lösen vermögen; bei gleichbleibender Anordnung und wechselnder Richtung eines Stosses wird die Masse dem Angriff bald widerstehen oder durch ihn zerbrechen. Diesen allgemeinen Grundsatz hat die Mechanik in seine Einzelheiten verfolgt und namentlich hat sie festgestellt, welche Widerstandsfähigkeit dieselbe Masse, je nachdem sie als Platte, Säule, Würfel, Kegel u. s. w. geformt ist, dem Stoss und Druck entgegensetzt, wenn letztere senkrecht, parallel oder drehend gegen die verschiedenen Ebenen nnd Kanten jener Gebilde treffen. Man hat es bis dahin versäumt, in einer genauer durchgeführten Untersuchung eine Anwendung dieser Regeln auf die Osteographie zu machen, so dass sich ausser selbst verständlichen Dingen, wie z. B. ein Röhrenknochen, welcher an einem Ende befestigt ist, zerbricht leichter durch einen Stoss der senkrecht gegen die Längenachse geht, als durch einen der gegen die Cylinderbasis trifft u. s. w., nichts sagen lässt. Soweit aber eine oberflächliche Betrachtung Einsicht gestattet, ist das menschliche Skelet den hier einschlagenden Regeln der Mechanik gemäss gebaut, so dass z. B. Knochen und Knochenabtheilungen, welche grosse Lasten zu tragen, kräftigere Muskelzüge zu erleiden haben, nicht allein massiver sind, sondern auch den zerdrückenden Kräften in der Richtung grössten Widerstandes entgegentreten, oder dass, wenn dieser Regel entgegen starke Drücke senkrecht gegen grössere dünne Platten gehen, diese nicht aus einem, sondern einer grösseren Zahl klotzförmiger Knochen bestehen u. s. w.

Die Richtung, nach welcher sich zwei berührende Knochen aneinander bewegen lassen, findet eine ihrer wesentlichen Bestimmungen in der Form der sich treffenden Flächen; je nachdem diese geformt sind, wird der eine auf dem andern Knochen in nur einer oder in mehreren Ebenen verschiebbar sein. Der Umfang möglicher Bewegung wächst sowohl mit der freien Stellung, die den Flächen an den Knochenenden zukommen, als auch mit der Zahl der Grade, die ihre Krümmungen umschliessen, vorausgesetzt, dass dieselbe um einen Mittelpunkt gehen, oder wenn dieses nicht der Fall, mit

ihren Ausdehnungen. Die Festigkeit der Verbindung endlich, soweit sie vom Knochen selbst abhängt, steigt mit der Vermehrung der sich berührenden Punkte. Auf diese wichtigen Verhältnisse werden wir später im Einzelnen zurückkommen.

Die Längen und namentlich die Abstände der freien und eingelenkten Enden eines Knochens, der als Halbmesser um einen Drehpunkt oder eine Drehachse einen Kreis beschreibt, bestimmen das Verhältniss der Geschwindigkeit am Ende und Anfang des Knochens. Die Richtungen des Knochens gegen den Gelenkfortsatz, insbesondere gegen die Achse der Bewegung, weisen den ziehenden Muskelkräften ihren Ansatzwinkel an, d. h. denjenigen, welchen die Richtung der Muskelkräfte mit ihrem zugehörigen Hebelarm bildet. Je mehr sich dieser Ansatzwinkel dem rechten nähert, ein um so grösserer Antheil der Muskelkraft wird zur Ortsveränderung und ein um so kleinerer zur Zusammenpressung der Gelenkenden verwendet. Je breiter endlich die nach einer Richtung hin sehende Fläche ist, welche der Knochen den sich an sie setzenden Muskelfasern bietet, um so weniger werden die zu einem Muskel zusammengefassten Röhren gegen diesen Knochen hin convergiren, so dass grosse Mengen gleich langer in gleicher Richtung wirkender Muskelröhren hier entspringen können.

Demnächst wäre nun zu untersuchen, welche Folgen aus der Verbindung mehrerer Knochenformen entstehen; d. h. wie sich der folgende Knochen gestalten muss, rücksichtlich seiner Gelenkfläche und der Grösse und Lage seiner Muskelansatzorte, wenn der vorhergehende gegeben ist. Unzweifelhaft dürften sich dann allgemeine mathematische Ausdrücke nicht allein für jeden Knochen, sondern auch für die zu einem kleineren oder grösseren System verbundenen herausstellen. Dafür bürgt uns nicht allein die immerhin noch ausserordentliche Uebereinstimmung der Form der Knochen bei den verschiedensten Menschen, sondern noch mehr, dass trotz aller bestehenden Abweichungen dieser Formen, gewisse unwillkürliche Leistungen des Skelets von allen Menschen auf ganz ähnliche Art erzeugt werden, mit andern Worten, dass trotz der sichtbaren Abweichung der betheiligten Einzelkräfte doch immer dieselbe Resultirende zum Vorschein kommt, die wir mit dem trivialen Ausdruck, Gehen, Schwimmen, Sitzen u. s. w. bezeichnen. Diese auffallende Erscheinung einer gleichen Resultirenden bei abweichenden Componenten findet vielleicht darin ihre Erklärung, dass die constanten und wesentlichen Eigenschaften des Skelets zu tief liegen, als dass

wir sie durch eine nur oberflächliche Beobachtung sogleich herausfinden könnten. Diese Vermuthung gewinnt an Wahrscheinlichkeit, weil z. B. auch die Drehpunkte, die Achsen der Gelenke und dergl. gar nicht als besonders wichtige Theile für das Auge ausgeprägt sind. Möglicher Weise gleichen sich aber auch durch jedesmalige Abweichungen nach entgegengesetzten Richtungen hin die Störungen aus, so dass, wenn ein Knochen eine Form annimmt, welche dem Zustandekommen einer gewissen Resultirenden hinderlich ist, dieser hemmende Einfluss durch eine Abweichung aufgehoben wird, welche ein anderer Knochen nach entgegengesetzter Richtung erlangt.

Auch in diesem Gebiet, das bisher in dunkler Nacht lag, beginnt ein neuer Tag zu leuchten. Dank den Untersuchungen von H. Meyer, A. Fick, Langer, Henke, Henle und Meissner. Die Resultate solcher Forschungen, zusammengehalten mit den Einflüssen, welche die Aussenwelt auf die Weichtheile und durch sie auf das Knochensystem übt, würden dann auch zu den höchsten Aufgaben der Morphologie führen, nämlich zu den Fragen über die Stellung des Skelets in der Reihe organischer Wesen. Schon jetzt erscheint es uns ohne alle tiefer eingehende Ueberlegung sinnvoll, dass ein Gebilde von dem spezifischen Gewicht des menschlichen Körpers als Stützpunkt seiner Bewegung den festen Boden benützt; dass die Masse des festen Körpers, wenn sie sich einmal auf zwei Beinen bewegt, in vorzugsweise senkrechter Richtung aufgethürmt wurde und zwar in einer Aufeinanderfolge und Vertheilung, welche dem Schwerpunkt der Gesammtmasse seine Lage annähernd in der Horizontalebene der Schenkelköpfe anweist. Voll innerer Nothwendigkeit erhebt sich von dem Rumpf in das vorzugsweise schallleitende, durchsichtige, geruchführende Medium der Kopf als Träger der Sinneswerkzeuge, durch seine Beweglichkeit zur Umschau befähigt.

Verbindungen der Knochen*).

1. Ausser der Verbindung durch Nähte, welche meist so innig ist, dass sie nur den Gewalten nachgibt, die stark genug sind, um den Knochen zu zerbrechen, kommen zwei wesentlich verschiedene Arten von Gelenken vor, die man in der Anatomie als Synchondrosen und Artikulationen beschreibt. Die Synchondrose zeichnet sich der Form nach dadurch aus, dass in ihr die einander gegenüberstehenden Knochenden durch steife Weichtheile, Knorpel und Bänder, verwachsen sind. Rücksichtlich der Bewegung ist sie dadurch charakterisirt, dass sie den Knochenstücken, welche sie verbindet, eine bestimmte Lagerung gegeneinander anweist, aus der dieselben nur durch einen gewissen Kraftaufwand entfernt werden können. Die verbindenden Zwischenstücke sind im Einzelnen von

*) Henle, Handbuch der Anatomie des Menschen. Bänderlehre. Braunschweig 1856. — H. Meyer, Lehrbuch der physiologischen Anatomie. Leipzig 1856.

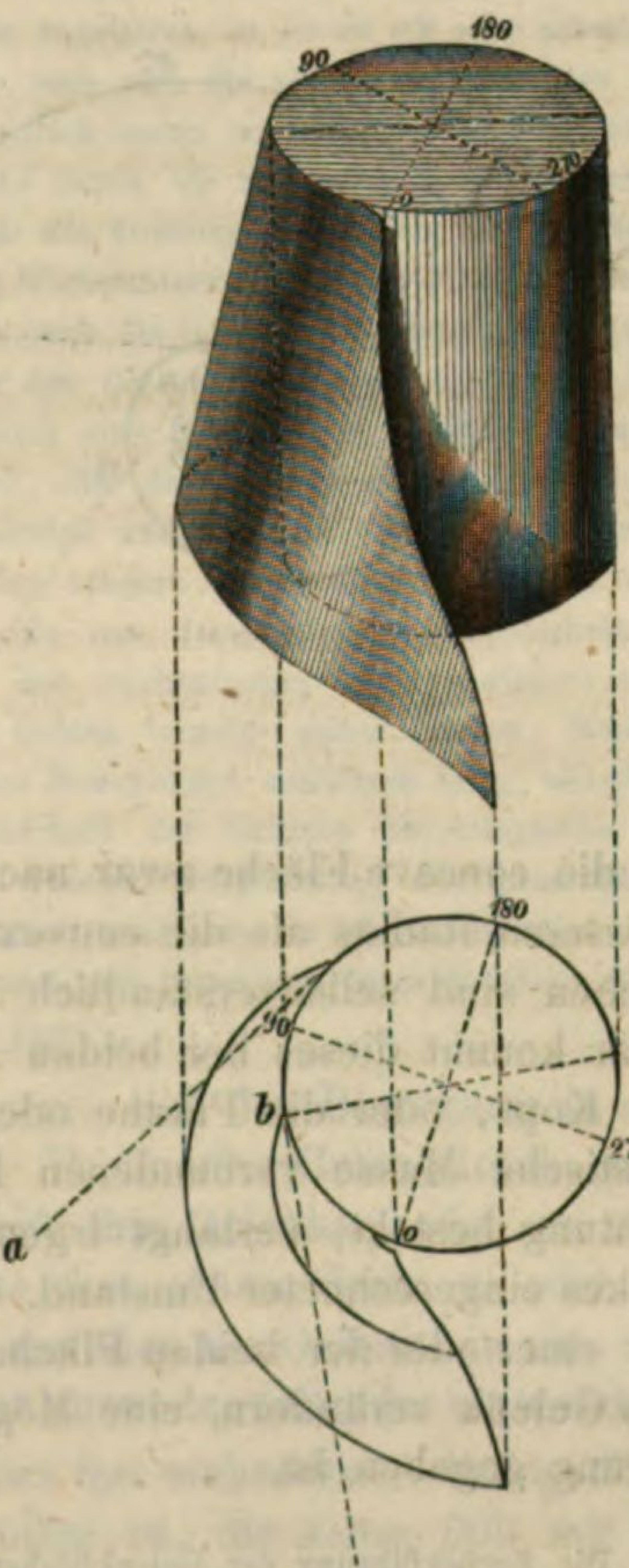
dem beweglichen Rippenknorpel durch die ligamenta intervertebralia hindurch bis zur symphysis sacro-iliaca von einer sehr verschiedenen Festigkeit und Steifigkeit. Einzelne Synchondrosen sind endlich noch dadurch verwickelt, dass die einander zugekehrten Knochenflächen bis zu einem solchen Grade uneben gestaltet sind, dass schon bei einer geringen Verbiegung des Knorpels die Knochen aneinanderstossen. Da die Verschiebung der synchondrisch verbundenen Knochenmasse aus ihrer Ruhelage nur in Folge von Verdrehung, Einknickung, Verkürzung und Verlängerung der elastischen Zwischenstücke geschehen kann, so ergibt der Augenschein, dass die Beweglichkeit der Synchondrose [oder schärfer ausgedrückt, der Umfang ihrer Winkelbiegung im Verhältniss zur Grösse der bewegenden Kräfte] im Allgemeinen wächst mit der Länge und abnimmt mit der Vergrösserung des Querschnittes der verbindenden Masse. Bei der Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung des Bindestückes aus Knorpel, Fett und elastischem Bindegewebe lässt sich jedoch keine vergleichende Bestimmung über die Beweglichkeit der einzelnen Synchondrosen geben.

Die Artikulation ist zu definiren als das Gelenk, welches zwischen zwei sich berührenden freien Knochenenden besteht; diese Gelenke haben Hilfswerkzeuge, als da sind knorpelige oder faserige Ueberzüge der Gelenkflächen; Bandmassen, welche von einem Gelenkende zum andern überspringen, in die unter Umständen noch Spannmuskeln, Deckknochen, Bandbrücken und Fettpolster eingelagert sind; die schlüpfrige Reibung, vermindernde Gelenkschmiere; endlich die Luftleere der Gelenkhöhle, welche durch Ventile und Kapselmembranen erhalten wird.

a) Die bis dahin genauer bestimmbaren Flächen, welche gegeneinander einlenken, sind: Mäntel von Rotationskörpern und zwar von Kugeln, Kegeln, Cylindern, Ellipsoiden (Hyperboloiden ?). Die Gelenkenden sind ferner von Spiralflächen begrenzt, die man in rein descriptivem Sinne sich entstanden denken kann durch Abwickelung von einem Cylinder oder einer ähnlichen Fläche. Diese Flächen sind jedoch nicht blos nach einer, sondern wie die Rotationsellipsoide u. s. w. nach mehreren Richtungen gebogen, wie man gewöhnlich sagt, gewölbt oder gekehlt. Wenn sich, wie dieses meist der Fall, die Kehlung in der Richtung zum Pol der Spirale hin abflacht, so kann man sich vorstellen, dass die in den einzelnen Schnitten des Gelenkkopfes gelegenen Spiralen nicht gleichzeitig ihre Abwickelung begonnen haben, resp. dass die Abwickelung

gleichzeitig auf einer Linie begann, welche nicht parallel mit der Achse des Grundkörpers gelegen ist. Diese Vorstellung versinnlichen die Figuren 116a und b, in welchen eine Cylinderfläche in der Abwickelung begriffen ist. Wenn die gegen das untere Ende des Cylinders abgewickelten Flächen denen am obern um etwa 90° voraus sind, so wird die abgewickelte Figur das Ansehen eines Kegels erhalten.

Fig. 116 a und b.

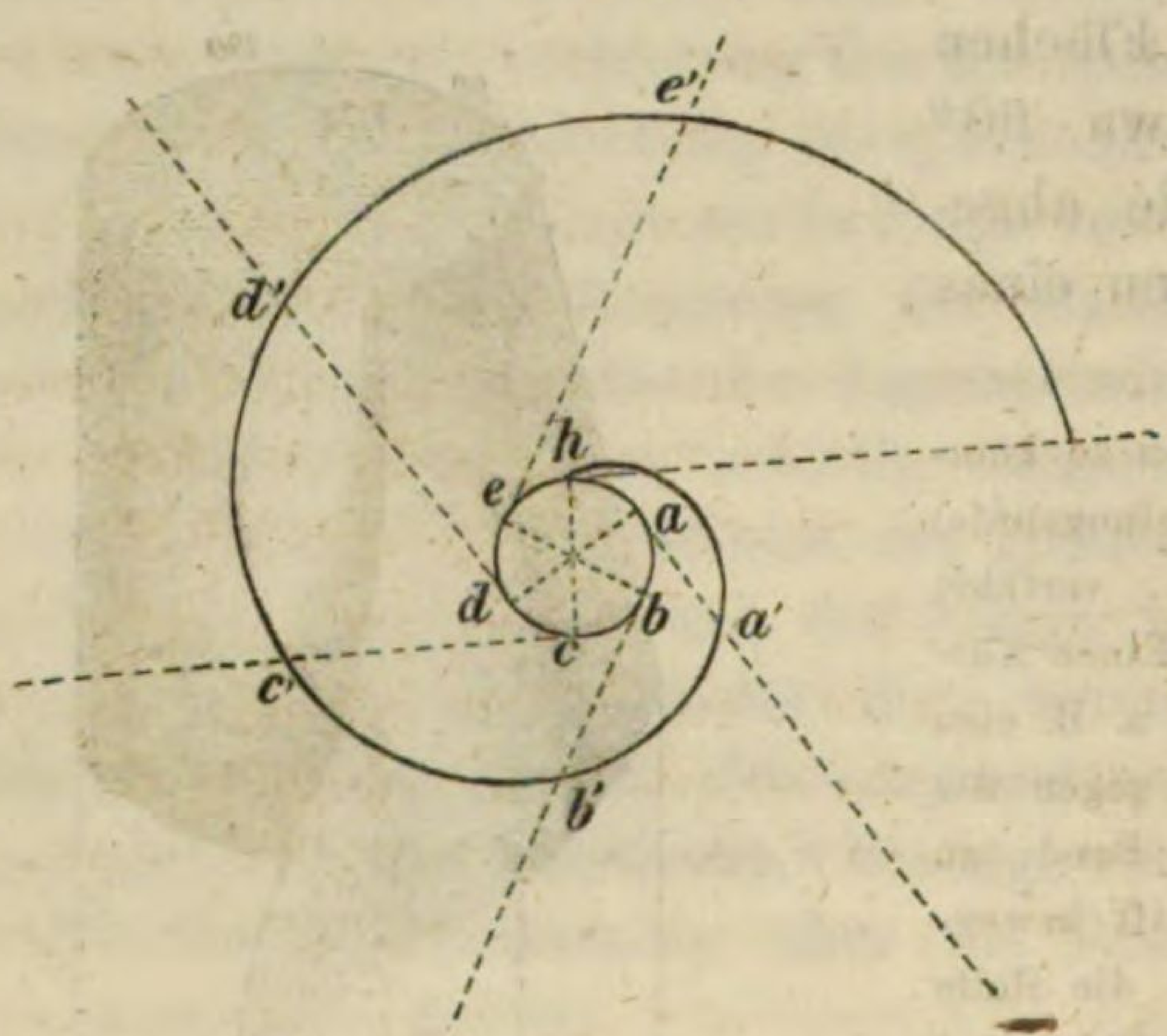


Um zu einer Vorstellung davon zu kommen, was man Evolvente (Abwickelungslinie) und Evolute (Grundlinie) nennt, verfährt man am besten folgendermaassen. Einen Körper mit gekrümmter Oberfläche, z. B. eine Rolle umwickele man senkrecht gegen die Rollenachse mit einem schmalen Band, an dessen freien Ende ein Zeichenstift beweglich eingebunden ist. Setzt man die Rolle nun unbeweglich auf eine Papierfläche und beschreibt, während man das Band abwickelt, mit dem immer stramm angezogenen Ende desselben eine Curve, so erhält man damit die Evolvente des Kreises, die Evolute jener Evolvente ist also der Kreis. — Die allgemeine Regel für die Construktion der Evolvente, nach gegebener Evolute, wird also darin bestehen, dass man an die Evolute, also z. B. an den Kreis (Fig. 117 auf d. folg. Seite) möglichst viel Tangenten *aa'*, *bb'*, *cc'* u. s. w. legt und auf diese der Reihe nach abmisst die Stücke der Peripherie, welche zwischen dem Punkt, wo die Abwickelung beginnen soll und dem, wo die Tangente angelegt wurde, gelegen sind. Wenn also bei *h* die Abwickelung beginnt auf *aa'*, das Stück *ha*, auf *bb'*, das Stück *hb* u. s. w. Die Verbindungslinie dieser Punkte *a' b' c' d'* ist die Evolvente. Umgekehrt gelingt es auch zu der gegebenen Evolvente die Evolute zu finden; das Verfahren hierzu leuchtet von selbst ein, wenn man erwägt, dass die Evolute die Verbindungslinie der Krümmungsmittelpunkte aller der Biegungen ist, welche die Evolvente auf ihrem Gange der Reihe nach beschreibt.

Die Rotations- und Spiralflächen sind endlich auch noch schraubenförmig gewunden, d. h. es steht die Fläche, auf welcher die Bewegung fortschreitet, nicht unter einem rechten Winkel

gegen die Achse des Rotations- oder Evoluten-Körpers, dem sie angehört. Je nach der Form des Grundkörpers, auf welchem der Schraubenzug geht, spricht man von Walzen-, Kegel- und Spiral-Schrauben. — Die Flächen, welche die beiden Gelenkenden einander zukehren, sind immer von ungleicher Grösse. — Bei den Gelenkformen, welche zu einem der Rotations-Körper gehören, bei Rollengelenken sind entweder beide Flächen, die concave wie die convexe, um ein und denselben Radius beschrieben, sie schliessen also genau auf einander; oder es ist die concave Fläche zwar nach demselben Gesetz, aber um einem grösseren Radius als die convexe gebogen. Die spiraligen Gelenkflächen sind selbstverständlich niemals congruent. — Oefter, und zwar kommt dieses bei beiden Arten von Gelenkflächen vor, wird der Kopf, oder die Pfanne oder beide Enden aus mehreren durch elastische Masse verbundenen Knochen gebildet. Wo diese Einrichtung besteht, verlangt irgend ein in den Mechanismus des Gelenkes eingerechneter Umstand, dass sich die Form und Ausdehnung nur einer oder der beiden Flächen während ihres Durchgangs durch das Gelenk verändern, eine Möglichkeit, die durch jene Zusammenfügung gegeben ist.

Fig. 117.



Die Zurückführung der Gelenkflächen auf ihre ideale Form (das Schema) ist mit eigenen Schwierigkeiten verbunden. Die Knochen, welche der Untersuchung unterworfen werden, müssen möglichst frisch, und von gesunden jungen Individuen sein. Namentlich hat sich schon die Vernachlässigung des Knorpelüberzugs an der Messung gestraft. — Gewöhnlich führt man durch den Kopf und die Pfanne zwei auf einander senkrechte Schnitte, welche bei den ein- oder zweiachsigen Gelenken durch die Lage der Achsen bestimmt werden. In der Ebene des einen (des Achsen- oder Sagittalschnittes) liegt die eine oder die mehreren Drehungsachsen des Gelenkendes; bei Rotationskörpern liefert die Grenze des Schnittes an der Gelenkfläche die sog. Erzeugungslinie. Den andern Schnitt führt man senkrecht gegen die Achse; er enthält bei den Rotationskörpern den Radius der Gelenkfläche. Bei den Schraubengelenken gibt

der letztere Schnitt jedoch im günstigsten Fall den Grundkörper, auf dem die Schraube läuft; um den Steigwinkel der Schraube zu erhalten, bedienten sich Langer und Henke der Gang- oder Spurlinie; sie gewinnen dieselbe dadurch, dass sie den Gang eines Punktes der concaven über die convexe Gelenkfläche mittelst eines Stiftes markiren, den sie an einer Grenze der ersten Fläche eingestochen haben. — Da nun die am Gelenk wirklich ausgeführten Flächen sehr häufig nur kleine Bruchstücke von dem ganzen Mantel des Körpers darstellen, dem sie angehören, so ist es oft sehr schwierig, sie richtig einzuordnen, und oft genug kann man sich für mancherlei Gestalten entscheiden. Man wählt in solchen Zweifeln natürlich immer am besten unter den Curven, die sich gleich gut anschliessen, die, welche durch die relativ einfachste Gleichung ausdrückbar ist. Als Unterstützungsmittel für die Deutung zieht man auch zu Rathe die gleichnamigen Gelenke derjenigen höheren Wirbelthiere, wenn ihre Flächen vorzugsweise ausgebildet sind. Endlich ergänzt man auch die Gelenkfläche entweder dadurch, dass man zwei gleichnamige Condylen unter den Gelenkflächen abschneidet und dann mit ihren Schnittflächen zusammenpasst, wodurch eine Halbrolle, ein halber Schraubengang u. s. w. in einen ganzen verwandelt wird, oder dass man in einer an das Gelenk angegossenen Gypsmasse die Fläche des Knochens und zwar in dem Sinne fortsetzt, der im wirklich vorhandenen Stück ausgeprägt scheint. Alle diese Hilfsmittel sind, wie einleuchtend, mehr von heuristischer, als von demonstrativer Wichtigkeit. — Werthvoll dürfte dagegen der Beweiss aus der mechanischen Nothwendigkeit sein; denn es ist sehr wahrscheinlich, dass jedes Gelenk vermöge seiner Bänder, Muskeln u. s. w. nur mit ganz bestimmten Flächen seine Bewegungen ausführen kann; allerdings kann aber auch eine solche Betrachtung innerhalb der Grenzen physiologischer Genauigkeit noch die Wahl zwischen mehreren Flächen übrig lassen; alle diese würden dann, insofern sie sich der gemessenen genügend annähern, als gleichberechtigt anzusehen und damit wenigstens die Grenze bestimmt sein, innerhalb deren die Gelenkfläche ohne funktionellen Schaden veränderlich sein kann.

b) Achsen für die Bewegung. Bei der Bewegung in den Gelenken verändern entweder alle Theile des Gelenkkopfs, oder der Pfanne ihren Ort, dann schleift das Gelenke; oder es steht während der Bewegung eine Achse fest, dann dreht es sich. — Berücksichtigt man die Achsen, so zerfallen die Gelenke in ein- und mehrachsige, und diese Achsen stehen entweder fest oder sie wandern.

Gelenke mit nur einer und dazu fest stehender Achse gehören den einfachen und den Schraubenrollen zu; die Achse fällt mit der mathematischen des convexen Condylus zusammen. — Zwei Achsen kommen zu 1. den Sattelgelenken (Ad. Fick); um eine Vorstellung von dieser Bildung zu gewinnen, denke man sich eine senkrecht gestellte Kreisfläche mit ihrer Peripherie bis zu einer beliebigen Tiefe in den Umfang eines weichen Cylinders eingedrückt und diesen letztern darauf um seine Achse gedreht, während die Kreisfläche fortwährend senkrecht gegen den Cylindermantel gehalten wird. Der steife Kreis wird dann aus dem Cylinder eine Hohlkehle ausschneiden, deren Concavität paralell und deren Convexität senkrecht

gegen die Achse des Cylinders gerichtet ist. Darauf verfertige man sich einen Abguss von einem kleinen Stück dieser Hohlkehle; setzte man die Hohlkehle auf ein und den Abguss auf ein anderes Knochenende, so würde man ein Gelenk hergestellt haben, das um zwei Achsen, um die des Cylinders und um die senkrecht zum Erzeugungskreis der Hohlkehle stehende drehbar wäre. Den Bedingungen entsprechend sieht man ein, dass die Richtungen beider Achsen in der Primärstellung senkrecht auf einander sind, und dass die eine im ersten und die andere im zweiten Knochen liegt. Zwei Achsen besitzen 2. die Gelenke, deren convexe Flächen einem Rotationsellipsoid angehören und deren concave das hohle Ebenbild der ersteren sind. Beide Achsen liegen im Kopf des Gelenkes und stehen auf einander senkrecht. Die eine fällt mit der Umdrehungsachse des Rotationsellipsoids, also einem der Parameter der erzeugenden Ellipse zusammen; die andere Achse entspricht dem andern Ellipsendurchmesser. Beide haben gleiche Neigung gegen den Horizont; liegt also die erstere wagrecht, so ist es auch die zweite.

Mehr als zwei Achsen haben die Kugelgelenke, rücksichtlich dessen wir auf Seite 226 verweissen, und die Gelenke mit Abwickelungsflächen. Bei diesen letztern schreiten während des Hingangs der convexen auf der concaven Fläche die Achsen wahrscheinlich auf der Evolute fort, d. h. es dreht sich jeder mit einem besondern Halbmesser beschriebene Abschnitt des Gelenkkopfs um die Achse, welche senkrecht auf dem Mittelpunkt des ihm zugehörigen Krümmungskreises steht.

Die Richtigkeit dieser Behauptung vorausgesetzt, würde man es hier mit momentanen Drehungsachsen zu thun haben, die im rotirenden Körper und im Raume mit der Drehung fortschreiten, und es würde ferner für gleiche Winkel am Drehungsmittelpunkt das von der Peripherie abgewickelte Stück wachsen wie die zugehörigen Halbmesser (Langer).

Bei Gelenken mit zwei Rotationsflächen, die wenn auch von gleichem Gesetz, doch um ungleichen Radius beschrieben sind, rollt wahrscheinlich der kleinere Kopf um seine Achse, während dieselbe zugleich im Raume fortschreitet, hier würde also drehende und schleifende Bewegung verbunden sein.

Ausser den beschriebenen Bewegungen, in welchen die Gelenkfläche immer um ihr Centrum, resp. um ihre mathematische Achse sich drehte, dürfte es wahrscheinlich auch noch solche geben, die um eine excentrische Achse herumgehen.

Zur Auffindung der Achsen bedient man sich entweder der bekannten Form der Gelenkflächen, indem man die mathematischen Achsen auch als Drehungsachsen ansieht, oder man construirt sie aus der Bewegung. Zu diesem Zweck sucht man entweder mit einem Fernrohr und verschiebbaren Fadenkreuz auf einem Gelenkprofil den unbeweglichen Punkt auf; ist dieser in zwei zu einander parallelen Flächen gefunden, so giebt die Verbindungslinie beider Punkte die Achse, um welche die Drehung geschah. Ein anderes Verfahren zeichnet den Kreisbogen auf, welchen während der Bewegung des unverletzten Gelenkes ein Stift beschreibt, der an das dem Condylus entgegengesetzte freie Gelenkende unverrücklich eingesetzt ist. Der Mittelpunkt dieses Kreises lässt sich nach bekannten Regeln leicht finden; die Linie, welche senkrecht am Mittelpunkt der vom Stift beschriebenen Kreisebene steht, gibt, durch den Knochen verlängert, die gesuchte Drehungsachse.

Die Stellung, welche vermöge der Bewegung im Gelenk der zugehörige Knochen annimmt, ist abhängig von dem Winkel, welchen die Achse des Knochens mit der des Gelenkes bildet. Um die Gliederstellung zu beurtheilen, welche aus der vereinigten Bewegung mehrerer Gelenke hervorgeht, die sich an entgegengesetzten Enden eines Knochen finden, müssen die Winkel, welche die betreffenden Gelenkachsen einschliessen, bekannt sein. Auf diese Beziehung hat zuerst H. Meyer in seiner physiolog. Anatomie hingedeutet, auf die wir verweissen.

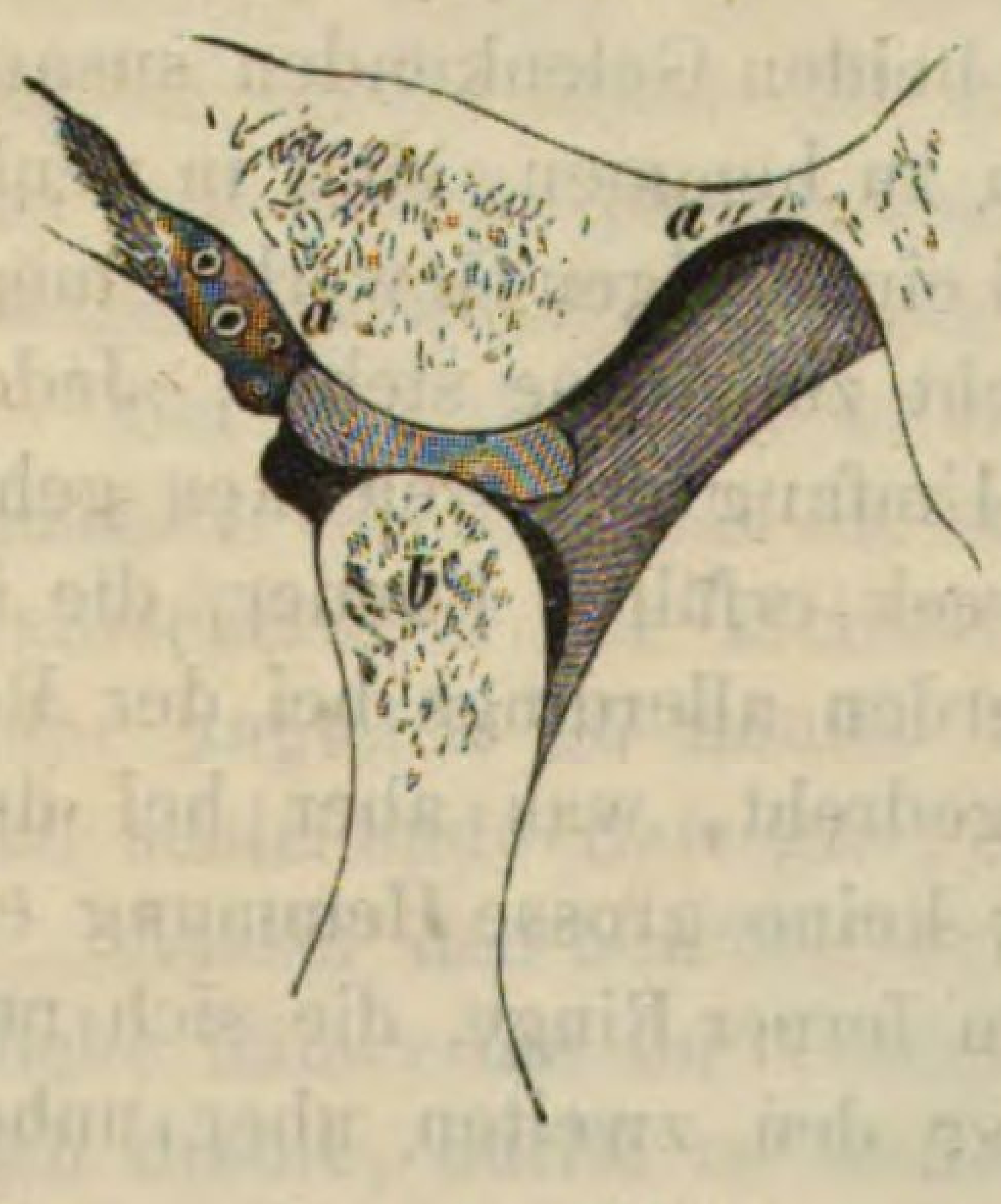
c) Bänder. Ihrer Leistung nach sind sie Haft-, Hemmungs- und Ausfüllungsbänder; die letzteren sind ihrem Gefüge nach aus weichen oder aus sehr festen Massen dargestellt, je nachdem sie sich zwischen Last und Unterlage, oder nur tangential zu der belasteten Fläche stellen. — Die Haft- und Hemmungsbänder sind immer aus fribösem, sehr zähem Stoff gebaut, weil sie immer relativ bedeutenden Kräften (der Schwere, dem Muskelzug u. s. w.) Widerstand leisten sollen.

Bänder, welche ausschliesslich die beiden Gelenkenden susammenhalten sollen, ohne die Bewegungen zu hemmen, sind in senkrechter Richtung gegen die Achse nur bei einachsigen Gewerben möglich, deren Ganglinien ebenfalls senkrecht zur Achse stehen. Jeder steife Radius, der von der Achse zum Umfang des Gelenkes geht, ist ein solches Haftband; denselben Zweck erfüllen Bänder, die in der Richtung der Achse liegen; sie werden allerdings bei der Bewegung um ihre eigne Längenachse gedreht, was aber bei der meist geringen Excursion der Bewegung keine grosse Hemmung erzeugt; zu den reinen Haftbändern zählen ferner Ringe, die sich nur an dem einen Knochen befestigen, über den zweiten aber unbefestigt wegschlagen.

Hemmungsbänder sind in allen Fällen solche, welche sich an beiden Knochen excentrisch anheften; sie hemmen die Bewegung durch Dehnung oder durch Torsion, und es wird somit ihr Widerstand zu beurtheilen sein nach ihrer Länge, dem Querschnitt und dem Elastizitätsmaass ihres Stoffes. Centrisch angeheftete Bänder bedingen, wenn sie Schraubengelenken angehören, ebenfalls eine Hemmung, da sich ein solches Band beim Auf- und Absteigen der Schraubenmutter an der Schraubenspindel verlängern oder verkürzen muss.

d) Der Binnenraum des Gelenkes ist bei allen Gelenkstellungen unveränderlich, insofern man darunter den von der Gelenkkapsel eingeschlossenen Raum versteht, und zwar desshalb, weil innerhalb der letztern nur Stoffe liegen, welche im Verhältniss zu den auf das Gelenk wirkenden Kräfte als nicht zusammendrückbare anzusehen sind. Versteht man dagegen unter dem Binnenraum des Gelenkes denjenigen, welcher zwischen den Gelenkflächen selbst bleibt, so ist dieser nur dann bei allen Gelenkstellungen derselbe, d. h. Null, wenn aus demselben Mittelpunkt mit demselben Radius beschriebene Rotationsflächen auf einander gehen. In allen andern sehr viel häufigeren Fällen wird dagegen der zwischen den zugekehrten Flächen vorhandene Raum mit der wechselnden Gelenkstellung sehr veränderlich. Die Möglichkeit dieses Geschehens liegt trotz der Luftleere der Kapselhöhle darin, dass um und in der letztern verschiebbare Massen (Synovia, Fett u. s. w.) liegen, welche in den zwischen den Gelenkflächen enstehenden Raume eingepresst werden können. Für die relative Festigkeit des Gelenkes muss der veränderliche Binnenraum oder was dasselbe sagt, die ihrer Ausdehnung nach veränderliche Berührung beider Flächen folgenreich sein.

Fig. 118.



2. Die nun beginnende Betrachtung der Gelenke im Einzelnen versucht eine Auswahl aus dem, was bis dahin von den Untersuchungen über Gelenke von physiologischem Belang ist.

Unterkiefergelenk.

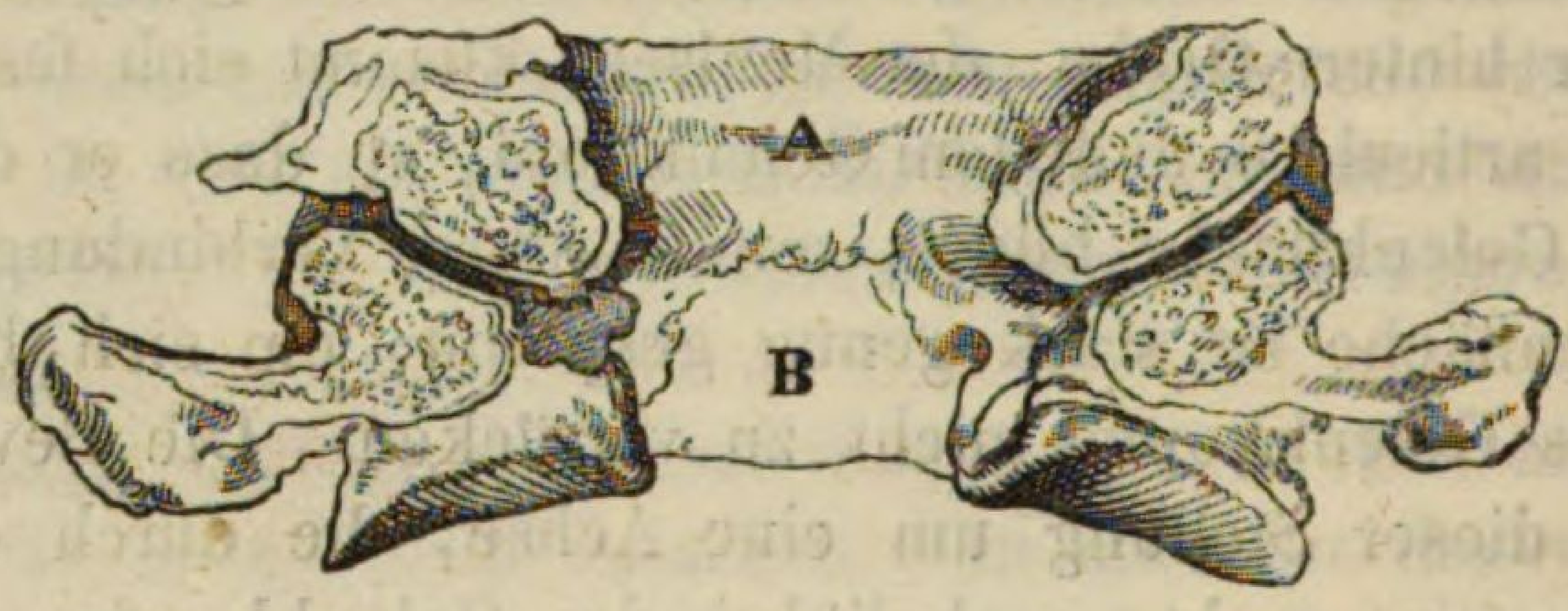
Seine Schädelfläche *a a* stellt hinten eine Grube und vorn einen Höcker da; die Fläche des Gelenkkopfes *b* ist wenigstens keinem

Umdrehungskörper angehörig; auf dem Kopf schleift ein Meniscus, eine biconcave Bandscheibe (Henle), die durch die relativ stärksten Bandmassen vorn und hinten an der Schädelfläche, rechts und links an dem Gelenkkopfe befestigt ist. Das Gelenk ist an der Leiche in zwei verschiedenen Stellungen verschieden beweglich. a) Der Kopf steht in der hintern Grube, der Meniscus klemmt sich fest zwischen tuberculum articulare und dem Gelenkkopf, so dass er die vordere Wand der Gelenkfläche bildet; sein vorderes Verbindungsstück mit der Schläfenfläche ist stark genug gespannt, um sich bei der Bewegung des Gelenkkopfes nicht zu verrücken. Die Bewegung geschieht in dieser Stellung um eine Achse, die durch die längste Ausdehnung (von rechts nach links) des Gelenkkopfes geht, nach Art derjenigen eines Säulen- oder Cylindergelenks. Hemmungen für die Bewegungen geben die Zähne, das Gelenk der entgegengesetzten Seite, und die zwischen process. mastoideus und dem Unterkieferast eingeklemmten Theile ab. — b) Der Gelenkkopf steht auf dem tubercul. articulare, der Meniscus legt sich gegen die hintere Fläche des Kopfes, und ist durch seine hintere Verbindung mit der Schläfenfläche festgestellt; bei den Bewegungen folgt er dem Gelenkkopfe, so dass er als ein integrirender Theil derselben angesehen werden kann. Die Bewegung geschieht also um das tuberculum articulare, um eine Achse, welche Henke, einer mündlichen Mittheilung gemäss, in den Gelenkhöcker legt. Die Hemmung geschieht durch das ligamentum laterale extern., den Meniscus, die hintern Backenzähne und die mm. masseter und pterygoideus internus. — Bisher glaubte man allgemein, dass bei einfacher Oeffnung des Kiefers der Kopf in der ersten Stellung verharre; Henle macht jedoch mit Recht darauf aufmerksam, dass der lebende Kiefer beim Oeffnen zugleich nach vorn und beim Schliessen erst wieder in die Höhle zurückgezogen werde. Die Zähne schneiden und passen also beim Kauen gleichzeitig wie die bekannte amerikanische Baumscheere. Demnach würde im Leben eine Bewegung in der Gelenkgrube nicht vorkommen, wofür auch der Mangel an einem knorpeligen Ueberzug in ihr spricht. — Beide Kiefergelenke gehen entweder in ihrer Bewegung gleichzeitig und gleichstark, oder es kann das eine festgestellt und das andere um dasselbe im Kreisbogen gezogen werden, wobei es aus der Grube auf den Höcker steigt oder umgekehrt einfällt.

Gelenk zwischen Hinterhaupt und Atlas. Beide Gelenkenden schliessen genau auf einander; sie sind mit doppelter, un-

gleicher Krümmung versehen; die Krümmung von rechts nach links, (von welcher Fig. 119 den Durchschnitt gibt; *A* ist das occiput, *B* der Atlas) ist mit einem grösseren Halbmesser beschrieben als

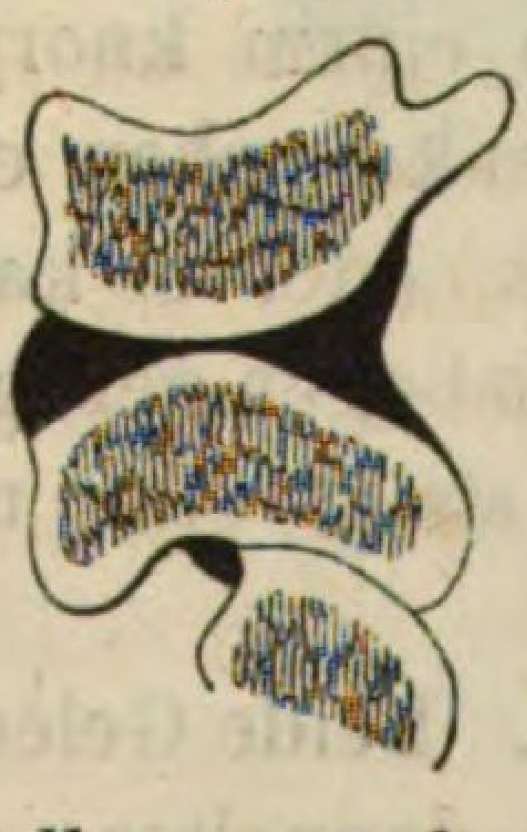
Fig. 119.



die von vorn nach hinten gehende. Aus diesem Grunde sind in diesem Gelenke vorzugsweise nur Bewegungen um zwei Achsen möglich, von denen eine von vorn nach hinten und die andere von rechts nach links geht; die Bewegungen um eine senkrechte Achse, die Kopfverdrehung, kann in aufrechter Stellung nicht in ihm vorkommen; wohl aber, wenn auch in sehr beschränktem Maasse, so wie das Gesicht gegen die Brust geneigt ist (Henle). — Die Ausdehnung der möglichen Bewegung um die horizontale von rechts nach links liegende Achse ist nicht unbeträchtlich, da die convexen Flächen des Hinterhauptes die concaven des Atlas um ein bedeutendes überragen. Um die sagittale Achse kann eine nur geringe Drehung geschehen. — Als Hemmungen der Bewegung wirken, ausser den benachbarten Knochenvorsprüngen, ligam. obturatorium anterius et posterius und der apparat. ligamentosus.

Gelenk zwischen Atlas und Epistropheus. — Zu ihm gehören drei Flächenpaare. Zwei davon wenden sich die entsprechenden processus obliqui, und das dritte der Bogen des Atlas und der Zahnfortsatz zu. Die erstern sind an jedem der beiden Wirbel im Lateralschnitt von innen nach aussen schief absteigend gebogen; im Sagittalschnitt (von hinten nach vorn) dagegen nach Art der Fig. 120 (Henle), so dass sie sich ihre convexen Seiten zukehren; man könnte sagen, die Durchschnittslinie jeder Gelenkfläche in der bezeichneten Richtung gehöre einer Ellipse an; bei aufrechter Stellung des Kopfs berühren sich dieselben mit ihrem Scheitel, bei der Seitwärtsdrehung legen sich dagegen die um grössern Halbmesser beschriebenen Biegungen auf einander. Die Drehungs-

Fig. 120.



achse des Gelenks liegt im Zahnfortsatz, nach Henke*) wandert sie jedoch während der Bewegung aus dem Innern des Zahnfortsatzes gegen dessen vordere Fläche. Zugleich steigt die Ganglinie des Gelenks an der Achse auf, wenn der Kopf aus der seitlichen in die gerade Stellung übergeht; es ist also die Bewegung eine schraubenförmige; da nun der Schädel von dem höchsten Punkt, den das Gelenk in der Mittellage des Kopfes einnimmt, ebensowohl absteigt bei der Drehung des Gesichts nach rechts, wie bei der nach links, und da sich bei jeder dieser Bewegungen auf der einen Seite die vordere Abtheilung der einen Atlasfläche auf die hintere der Epistropheuswölbung legt, an der andern Seite aber die hintere Abtheilung der erstern auf die vordere der letztern kommt, so zerlegt Henke das bisher als nur eines betrachtete Gelenk in zwei, und zwar in zwei Schrauben, von denen die eine links und die andere rechts gewunden ist; die letztere kommt in Anwendung, wenn das Gesicht nach rechts gewendet ist, und zu ihr gehören die linke hintere und rechte vordere Abtheilung der Atlas- und die linke vordere und rechte hintere Abtheilung der Epistropheus-Flächen. — Beim Uebergang der einen in die andere Schraubenwindung, wenn also die Flächen sich mit dem Scheitel berühren, findet einen Moment lang natürlich eine Drehung in rein senkrechter Richtung zur Achse statt. — Der Gang am Zahn ist durch das ligamentum transversum gesichert. Die Hemmung geschieht durch das ligamentum longitudinale anterius, die ligam. alaria propria (zum Zahn) und accessoria (zum Epistropheuskörper H. Meyer). — Die Ausdehnung der Bewegung ist unbekannt. — Henke macht darauf aufmerksam, dass durch das Absteigen des seitlich gedrehten Atlas die sonst unumgängliche Zerrung des Rückenmarks vermieden werde.

Gelenke zwischen den übrigen Wirbeln**). Von den mannigfachen Verbindungs- und Berührungsstücken der Wirbel soll zuerst die Synchondrose durch das lig. intervertebrale in Betracht gezogen werden.

Ein horizontaler Durchschnitt durch das lig. intervertibrale legt unmittelbar über dem Knochen eine hyaline Knorpelmasse bloss; weiter vom Knochen entfernt, trifft er auf Binde-, elastisches und Knorpelgewebe. Die letzteren Massen sind so geordnet, dass das Band in seinem Innern, jedoch nicht genau im Centrum, sondern

*) Henle's und Pfeufer's Zeitschrift 1857.

**) E. H. Weber, Hildebrand's Anatomie II. Bd. p. 145 u. 161. — Ed. u. W. Weber, Mechanik d. Gehwerkzeuge §. 42 u. f. — E. H. Weber, Ueber d. Bau d. Seehundes. Leipz. Berichte II. 128.

etwas mehr nach hinten aus einer weichen, leicht quellbaren Masse, dem sogenannten Kern, und in seinen mehr peripherischen Theilen aus aufrechtstehenden ineinandergesteckten Cylindern sich zusammensetzt, von denen je zwei, namentlich in der nächsten Umgebung des Kernes durch eine Scheidewand getrennt sind (Fig. 121). Der Kern besteht ausser der massenhaft eingequollenen Flüssigkeit aus nesterweis vereinigten Knorpelzellen und undeutlichen Fibrillen; in den Scheidewänden steigt eine elastische Faserung paralell der Längenachse der Wirbelsäule auf, die in Knorpelzellen eingebettet sind; die Cylindermäntel endlich sind aus Bindegewebsfasern gewickelt, die wie die Fäden einer Zwirnrolle der Peripherie des Cylinders gleichläufig gehen (Henle). In der lebenden Wirbelsäule ist der Kern in einem beträchtlich comprimirten Zustand, so dass er von der umgebenden Hülle befreit, einen grösseren Raum, als in der normalen Lage einnimmt. Diese Spannung des Kerns, die offenbar von endosmotischen Wirkungen herrührt, übt einen Druck auf seine Umgebungen, der wohl nach allen Richtungen hin mit gleicher Stärke geschieht, weil der Kern flüssige und halbflüssige Substanzen enthält.

Fig. 121.



Nächst dieser erhalten die lig. intervertebralia eine weitere Spannung bei der aufrechten Stellung durch die Schwere der überliegenden Theile; dieselbe wird ungleich stark auf die hintere und vordere Seite des Intervertebralknorpels wirken, weil der gespannte nucleus als ein Hypomochlion angesehen werden muss, um welches sich die seitlichen Theile drehen, wenn ein einseitiger Druck auf sie fällt. H. Meyer glaubt behaupten zu dürfen unter Annahme eines gegen den Horizont senkrechten Druckes, der auf die vordere Hälfte der oberen Fläche der Wirbelkörper fällt, dass die grösste Spannung in der Brustwirbelsäule an der hinteren Wand und in der Lendenwirbelsäule an der vorderen Wand gelegen sei, während in dem Uebergang von der einen zur andern Krümmung sie allseitig gleich stark bestehe. Ausser diesen allgemeingiltigen Verhältnissen zeigen die einzelnen Intervertebralbänder bekanntlich noch Verschiedenheiten rücksichtlich ihrer Dimensionen, die von Ed. Weber genauer bestimmt sind. Nach Ed. Weber wächst der Diameter der Querschnitte, die er annähernd als Kreise betrachtet, von dem obersten

Halsknorpel bis zum vorletzten Lendenknorpel von 14,7 bis 29,5 M. M. Die aus diesen Bestimmungen fliessende Berechnung des Flächeninhalts darf nur annähernd als richtig betrachtet werden, weil in der That die Querschnitte keine Kreise, sondern an der Hals- und Lendenwirbelsäule eine elliptisch, an der Rückenwirbelsäule eine herzförmig begrenzte Fläche darstellen. — Die Höhe der Knorpel nimmt in dem von Weber gemessenen Fall vom obersten bis zum untersten Intervertebralknorpel mit mancherlei Sprüngen von 2,7 bis 10,9 M. M. zu. — Aus diesen Thatsachen scheint der Schluss erlaubt, dass die Intervertebralknorpel der Halswirbel durch dasselbe Gewicht beträchtlicher gedreht und geknickt werden können, als die der Lendenwirbel und diese beträchtlicher, als die der Brustwirbel. —

Ed. Weber hat, um die Vorstellung über die Beweglichkeit der Wirbelsäule, insofern sie von den Intervertebralknorpeln abhängt, noch schärfer zu fassen, sämmtliche Knorpel der Halswirbelsäule und ebenso die des Rücken- und die des Lendentheils zu einem einzigen addirt. Indem er jedes dieser drei Stücke als Cylinder von gleichartiger Struktur und gleichen accessorischen Spannungen betrachtete und annahm, dass eine sie beugende Kraft parallel der Achse dieses Cylinders wirke, fand er, dass für gleiche Kräfte der Beugungswinkel der Hals-, Brust- und Lendensäule sich verhalten würde nahe wie 846 : 297 : 298. Selbstverständlich sind diese Zahlen kein Ausdruck für das Verhältniss der Beweglichkeit an den zugehörigen Wirbelsäulestücken.

Die ligamenta longitudinale anterius und posterius, welche die hintere und vordere Fläche der Wirbelkörper überziehen, sind als Verstärkungen der ligamenta intervertebralia anzusehen und zu beurtheilen. Das ligamentum flavum, das sich bekanntlich zwischen die Bogen legt, ist als eine Verstärkung des ligam. long. posterius zu betrachten, welche an einem längern Hebelarm wirkt.

Die Bewegung der Wirbelsäule würde, wenn sie nur von den Intervertebralknorpeln abhängig wäre, an allen Orten ungefähr mit gleicher Leichtigkeit nach allen Richtungen hin geschehen; die einzige Ungleichheit, die hier vorkommen könnte, würde bedingt sein durch die bald mehr hinten, bald mehr vorn gesteigerte Spannung der Wandungen und durch das Gegenübertreten des steifen Brustbeins und der Brustwirbel. Da nun aber in der That an verschiedenen Stellen der Wirbelsäule die Bewegung mit ungleicher Leichtigkeit nach verschiedenen Richtungen hin stattfindet, so müssen sich noch andere Beschränkungen finden. Diese letzteren liegen in den Gelenkflächen der schiefen Fortsätze, welche ausser dieser Bestimmung auch noch darum von Bedeutung sind, weil sie als steife Körper die Intervertebralknorpel vor einer Zusammenpressung durch

das Körpergewicht schützen. Um eine Vorstellung von der Gelenkfläche zu erhalten, schneiden wir dieselbe nach drei auf einander senkrechten Richtungen. Ein Schnitt geführt parallel mit der Längenachse der Wirbelsäule von vorn nach hinten, ergibt, dass in den oberen Halswirbeln, Fig. 122, die Gelenkfläche $A\,A$ einen sehr kleinen Winkel mit dem Horizont bildet, während ein gleicher durch die Lendenwirbel, Fig. 123, ein sehr steiles Abfallen der Gelenkfläche darlegt. Demnach wird in den Halswirbeln die Beugung und Streckung durch die schiefen Fortsätze keine Hemmung erfahren, während sie in den Lendenwirbeln wohl nur möglich ist, wenn die beiden Gelenkflächen sich in irgend welchem Umfang von einander abheben. — Ein Durchschnitt parallel mit der Wirbelsäule von rechts nach links zeigt, dass die Halswirbel, Fig. 124, mit Leichtigkeit in dieser Ebene bewegt werden können, da die den beiden Gelenken zukommenden Flächen annähernd wenigstens einem und demselben Kreisbogen angehören. In der Lendenwirbelsäule (Fig. 125) ist dagegen die Bewegung nur möglich, wenn sich während derselben die Flächen von einander heben, da die den beiden schiefen Fortsätzen angehörigen Gelenk-Flächen einander parallel laufen. — Zur Drehung um eine Längsachse sind, wie die Durchschnitte 126, 127, 128 lehren, nur Hals- und Rückenwirbel befähigt, denn nur bei diesen (126, 127) gehört die Durchschnittslinie beider Flächen A, A demselben Kreise an, während die beiden

Fig. 122.

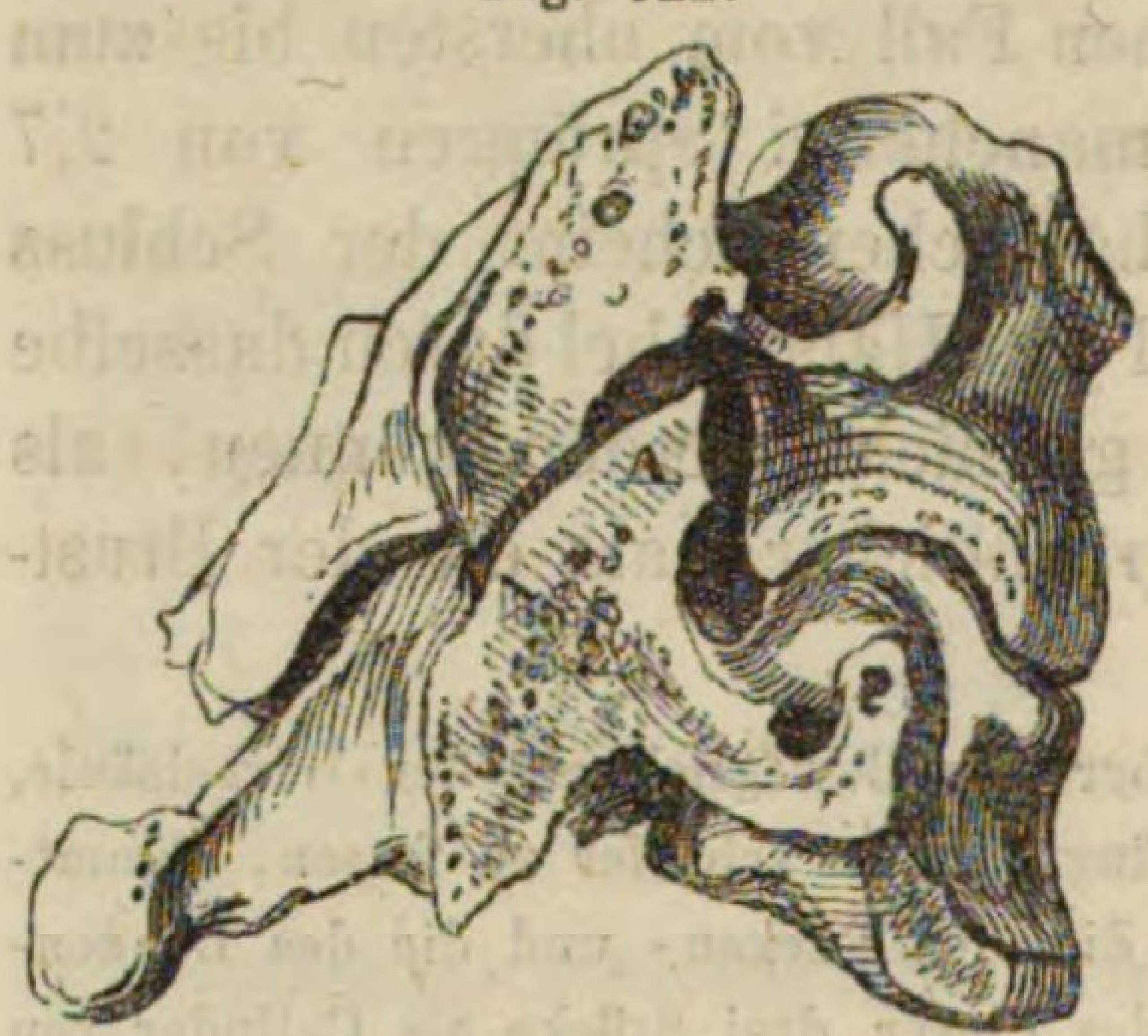
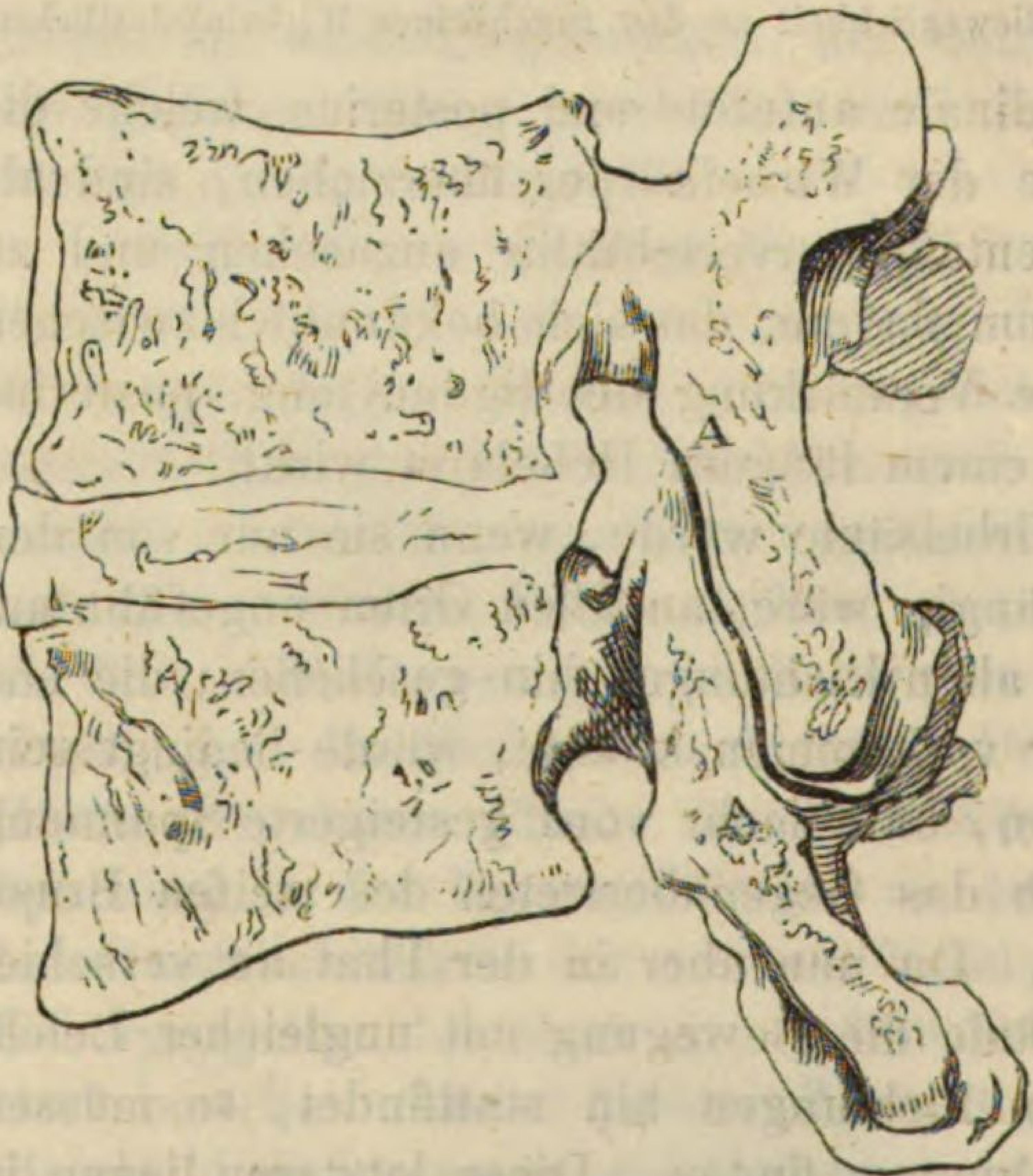
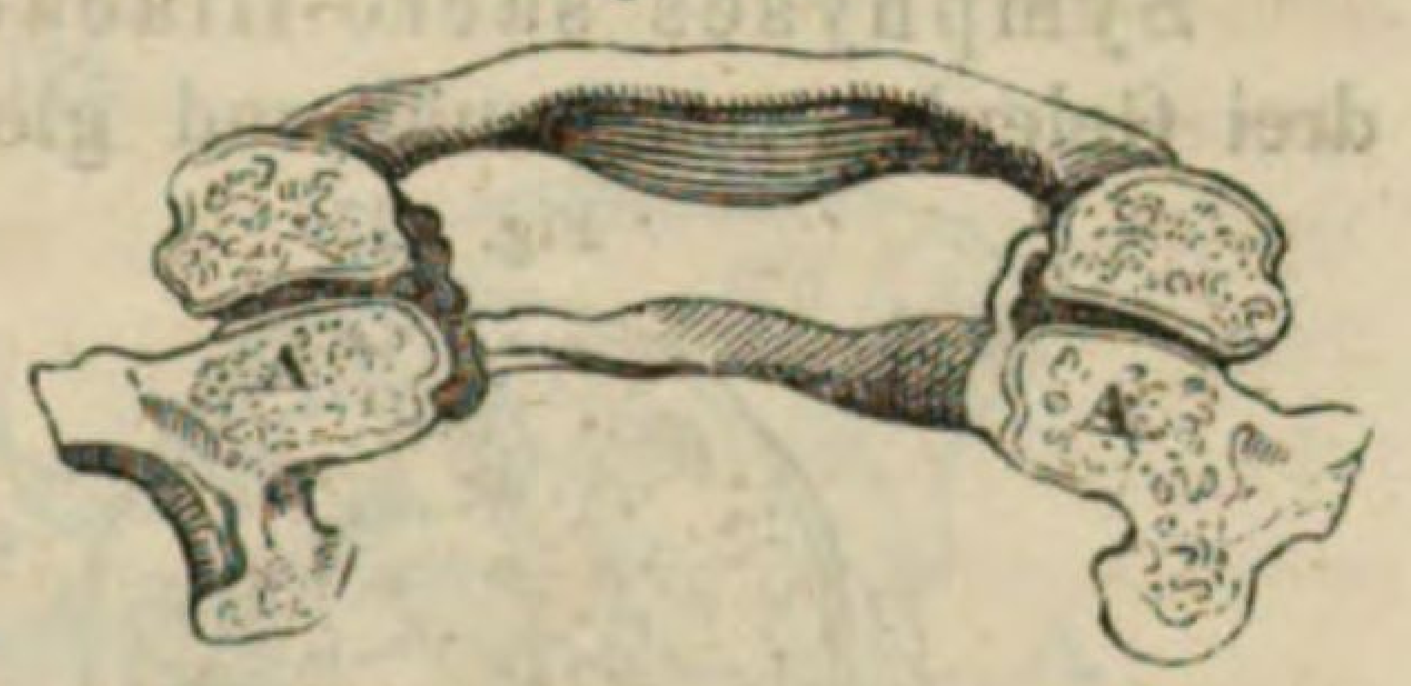


Fig. 123.



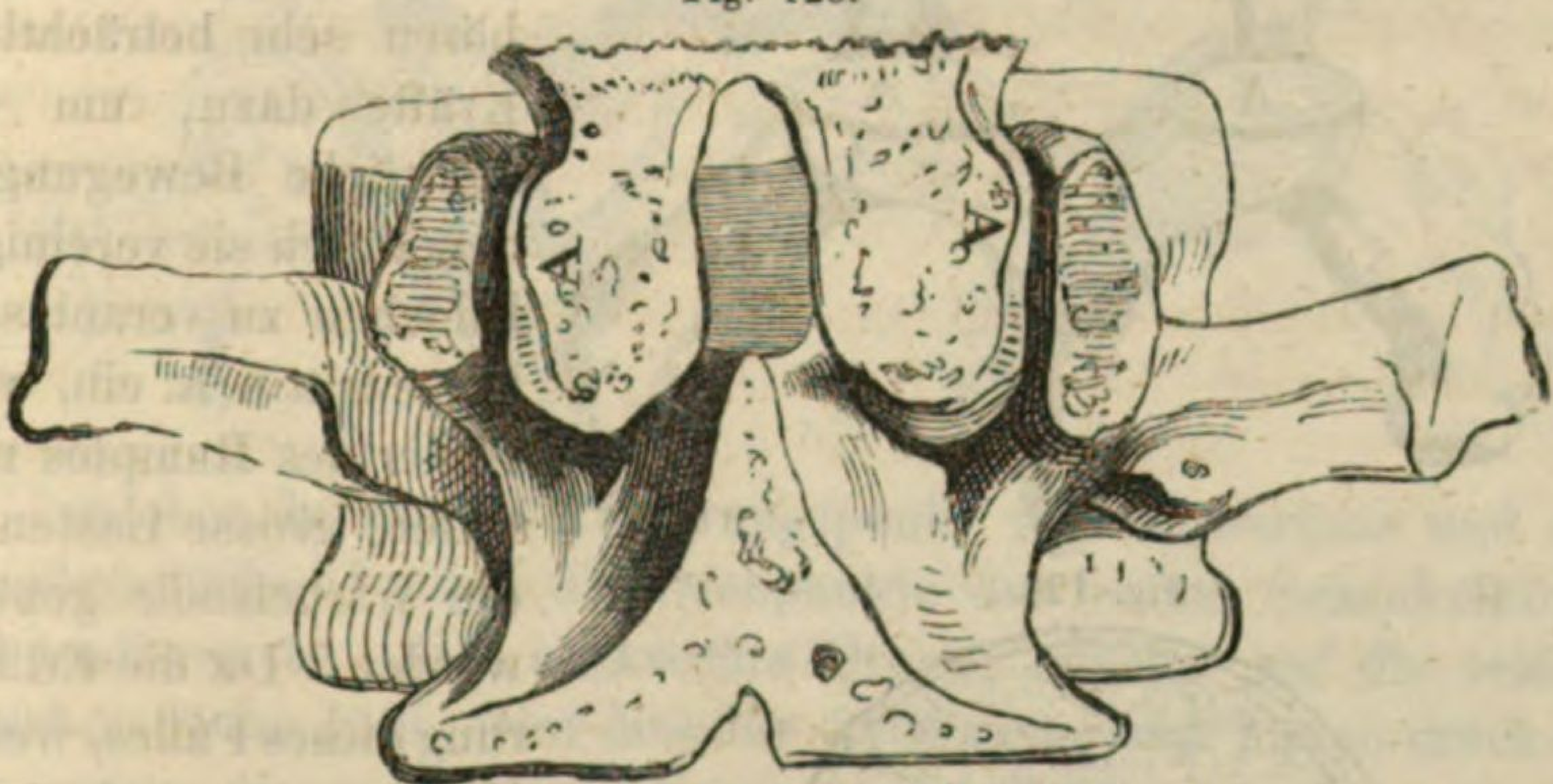
Gelenkfortsätze in der Lendenwirbelsäule wie die Zähne eines Zahnrades gestellt sind, und somit geradezu jede Drehung in der Horizontal-Ebene hemmen (E. H. Weber). Die Drehungen der Hals- und Brustwirbel unterscheiden sich von einander dadurch, dass der Drehungsmittelpunkt der ersteren gegen die Dorsal-Fortsätze, der der lezteren gegen die Wirbelkörper gelegen ist.

Fig. 124.



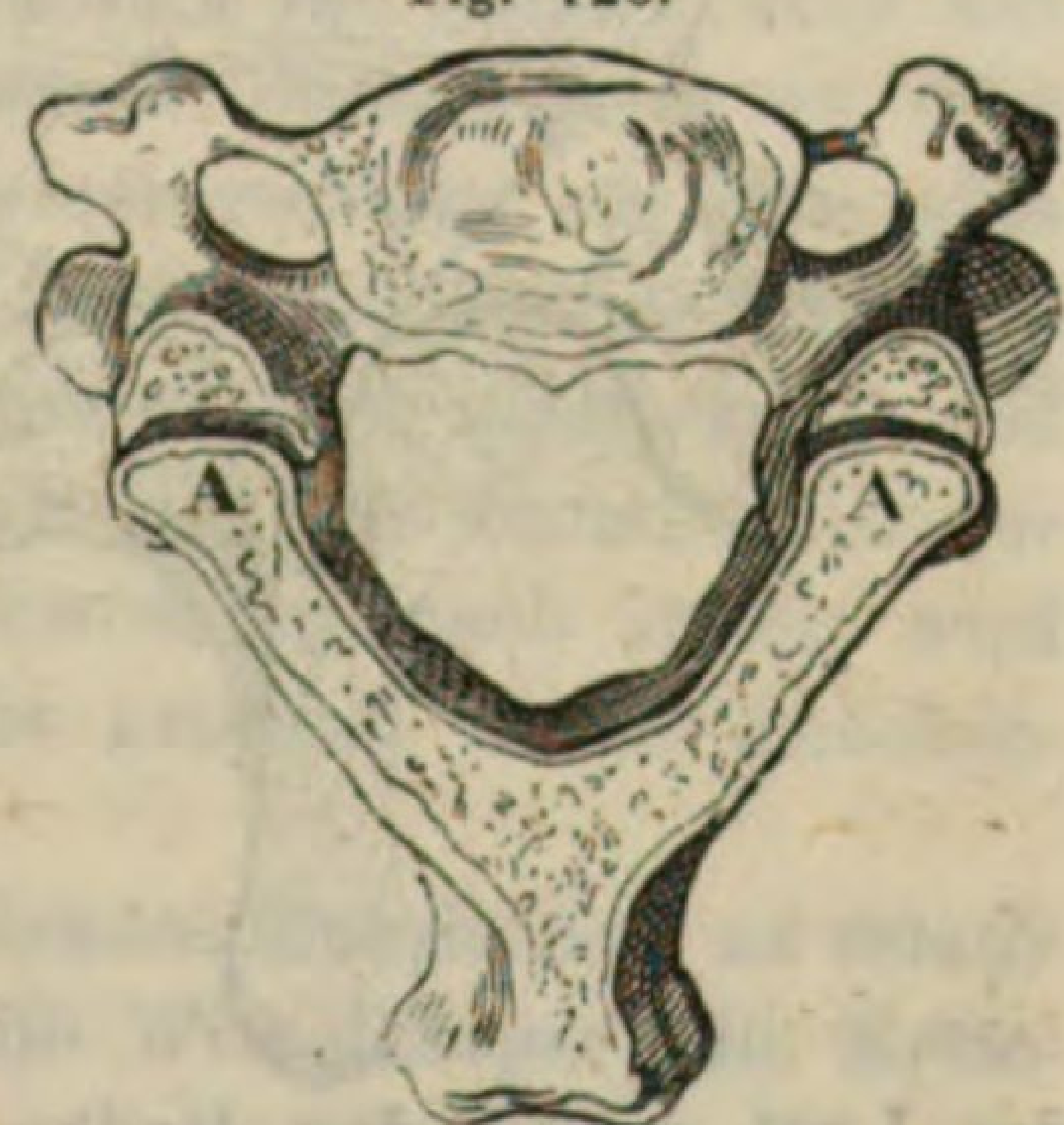
Nach E. H. und Ed. Weber, welche über die Beweglichkeit der Wirbelsäule Beobachtungen angestellt haben, kann die Hals-

Fig. 125.



wirbelsäule nach allen Richtungen sich biegen und drehen; der Brustwirbelsäule fehlt das Vermögen der Beugung und Streckung, oder es kommt ihr nach H. Meyer in nur beschränktem Grade zu, während die Lendenwirbelsäule sich nicht um ihre Längenachse drehen kann; dagegen vermag sie sich rechts, links, vorwärts und rückwärts zu beugen. Diese letzten beiden Bewegungen kann sie aber in grösster Ausdehnung an ihren Grenzen gegen die Brustwirbel und das Kreuzbein ausführen. — Der Winkel, welchen der Kopf von vorn nach hinten zu umschreiben im Stande ist, vorausgesetzt, dass er sich nur auf den kleinen Gelenken

Fig. 126.



und der Halswirbelsäule bewegt, beträgt nach Ed. Weber im Mittel 161°, während der Beugungswinkel der Lendenwirbelsäule nur 84° umgreift. —

Symphyses sacro-iliacae und ossium pubis. Da diese drei Gelenke von annähernd gleicher Festigkeit sind und an demselben Ringe sitzen, so geschieht ihre Bewegung immer gleichzeitig; bei dem grossen Widerstande, welchen die breiten und kurzen Knorpel-Massen einer jeglichen Verbiegung entgegensetzen, gehören sehr beträchtliche Kräfte dazu, um eine merkliche Bewegung in den durch sie vereinigten Knochen zu veranlassen. Diese tritt u. A. ein, wenn zu der des Rumpfes noch andere grosse Lasten an die Wirbelsäule gehängt werden. Da die Erläuterung dieses Falles, welche H. Meyer gegeben hat, genügt, um eine Einsicht in den Mechanismus der Bewegung zu gewinnen, so werden wir uns auf die Zergliederung desselben beschränken. Wir setzen die Bedingung, dass eine zum Horizont senkrecht gerichtete Last die schief abgestutzte Kreuzbein-Fläche treffe, und dass die Schwerlinie (ein vom Schwerpunkt der Last gegen den Boden gefälltes Perpendikel) unterstützt sei von der Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten der Schenkel-

Fig. 127.

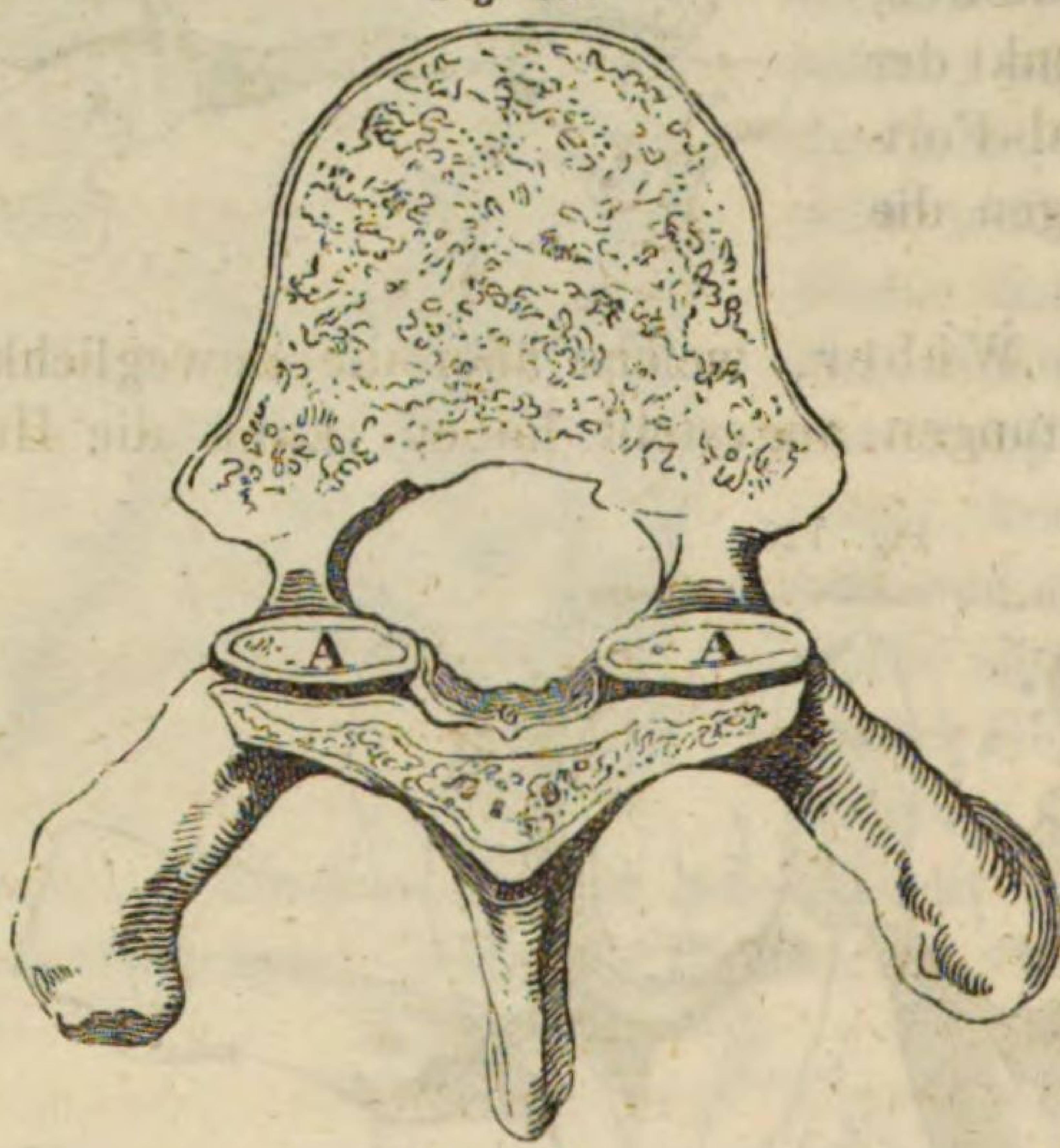
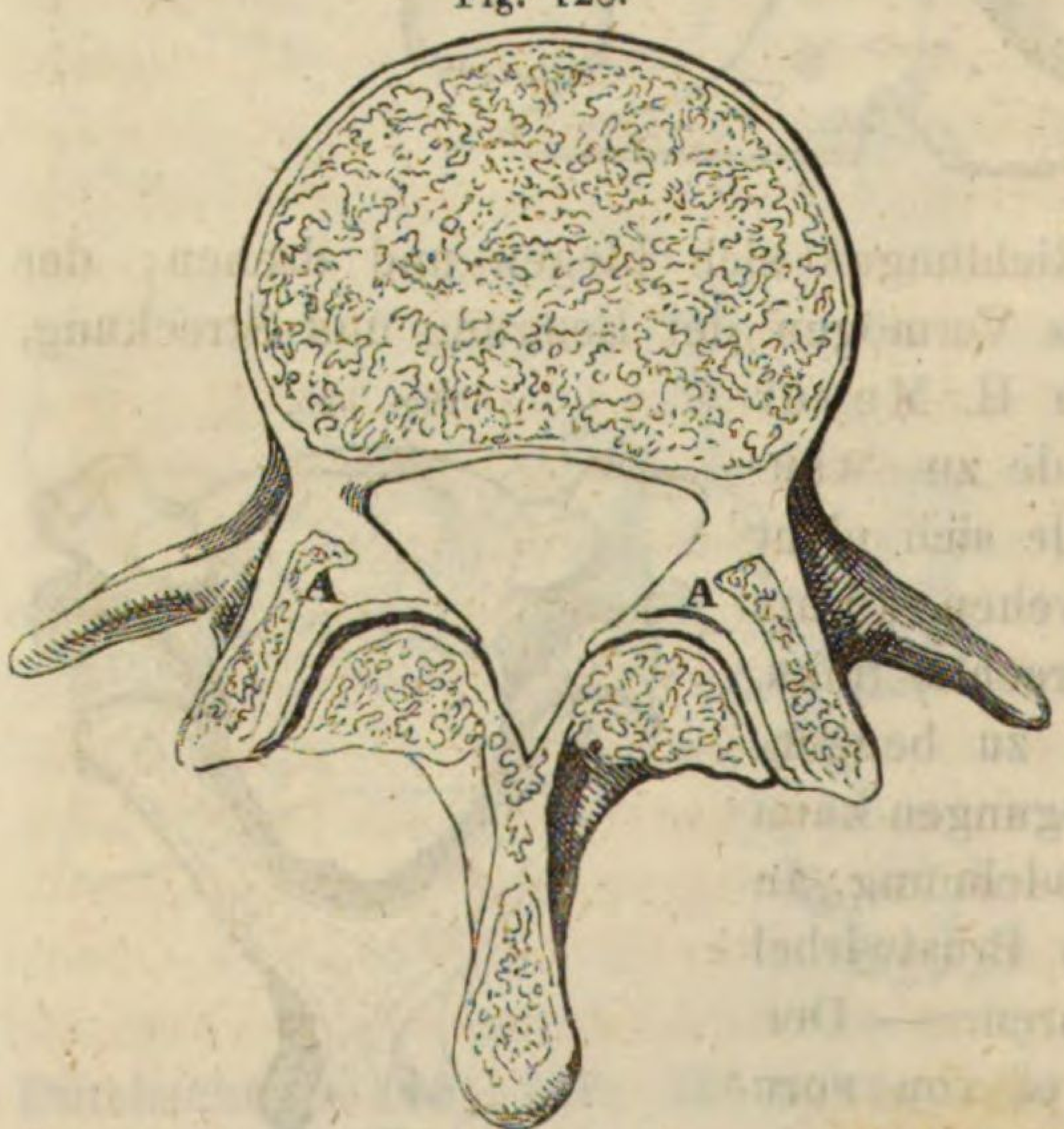
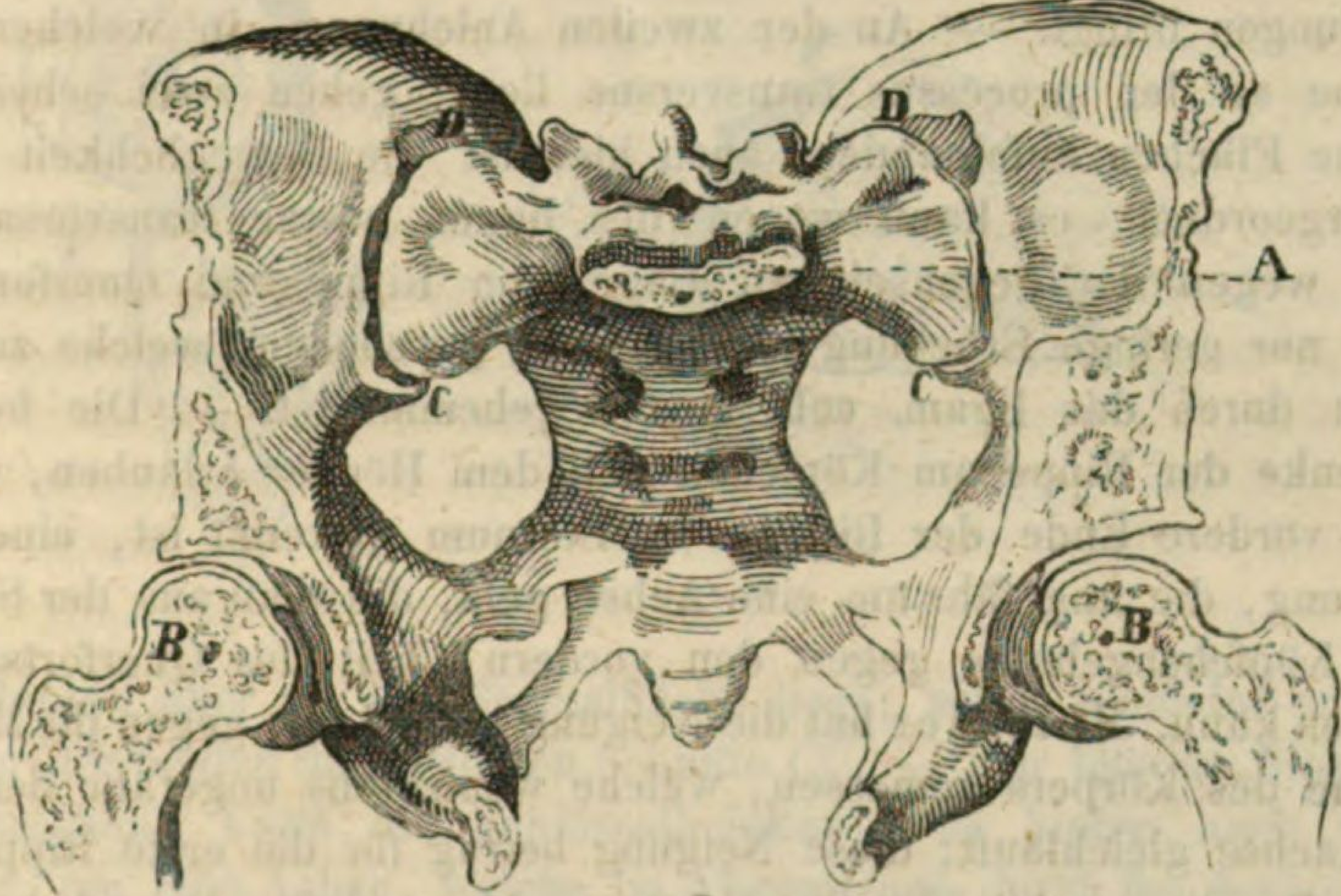


Fig. 128.



köpfe. Zur Versinnlichung des Hergangs, insbesondere der an der Kreuzdarmbeinsynchondrose eintretenden Bewegung soll die Fig. 129 dienen; sie stellt einen Durchschnitt durch das Becken

Fig. 129.



dar, welcher durch den Berührungspunkt der Schwerlinie und der Kreuzbeinfläche *A*, und die Drehpunkte der beiden Schenkelköpfe *BB* bestimmt ist. Der senkrechte Druck, welcher auf die schiefe Kreuzbeinfläche fällt, wird dieselbe nach unten und hinten drücken; der ersten dieser Druckrichtungen wird Folge gegeben werden können, da das Kreuzbein nach Art eines Keils mit nach oben sehender Spitze zwischen dem Darmbein ruht *CC*, *DD*. Entsteht aber in der That eine Bewegung, so werden die obern Theile des Darmbeins, welche noch besonders durch Bandmassen an dem Kreuzbein hängen, zugleich mit nach unten gezogen, so dass sich die Schambeinfuge, namentlich ihr arcus pubis, entsprechend spannt. Diese Spannung der Symphyse wird dann nach Entfernung des Druckes dem Darmbein wieder behilflich sein zur Annahme seiner alten Stellung. Durch die zweite Druckwirkung, nach hinten, wird das Krenzbein aber nur an das Darmbeim gepresst, da der Knochenbau keine Bewegung erlaubt.

Rippengelenke*). Die Rippe ist bekanntlich dreimal an relativ festen Flächen angelehnt. Zuerst an die Wirbelkörper; die Krüm-

*) Meissner, Jahresbericht für 1856. p. 486.

mung, nach der die Flächen dieses Gelenkes gebogen, ist nicht genauer bestimmt; jedenfalls ist hier nur geringe Verschiebung möglich, theils wegen der ligam. capituli radiatum, posterius und colli costae, theils wegen des ligam. interarticulare, welches bekanntlich nach Art eines Meniscus die Gelenkhöhle in zwei Abtheilungen bringt. — An der zweiten Anlehnung, in welcher die Rippe an den processus transversus liegt, gehen zwei scheinbar ebene Flächen aufeinander; auch hier ist die Beweglichkeit sehr untergeordnet; es kann wegen des ligam. costae transversarium und wegen der gegenseitigen Lage von Rippe und Querfortsatz eine nur geringe Erhebung und Senkung geschehen, welche zudem noch durch das ligam. colli costae gehemmt ist. — Die beiden Gelenke der Rippe am Köpfchen und dem Höcker erlauben, wenn das vordere Ende der Rippe vom Sternum getrennt ist, eine Bewegung, die ungefähr um eine Achse geht, die man aus der Spitze des Köpfchengelenks gegen den vordern Theil des Querfortsatzes ziehen kann. Meissner hat die Neigung einer Linie gegen die Mittelebene des Körpers gemessen, welche wenigstens ungefähr der Gelenkachse gleichläuft; diese Neigung betrug für die erste Rippe = 36^0, für die zweite 56^0, für die dritte 64^0 und für die zehnte 72^0. — Diese Achse, welche also von innen und vorn nach hinten und aussen läuft, wird ihrer Componente von vorn nach hinten entsprechend das Sternalende der nach unten gestellten Rippe nach aussen und ihrer andern Componente gemäss dasselbe Ende nach oben führen. Da die erstere Bewegung ob der Brustbeinverbindung unmöglich ist, so kann um jene Achse überhaupt nur gedreht werden, insofern und in dem Maasse die Rippen und ihre Knorpel verbiegbar sind (Helmholtz). Die ganze Rippe wird, gleich als ob sie sich in einer Synchondrose bewegte, eine stabile Gleichgewichtslage besitzen, in die sie immer zurückzukehren bestrebt, wenn man sie nach oben oder unten daraus entfernt hat.

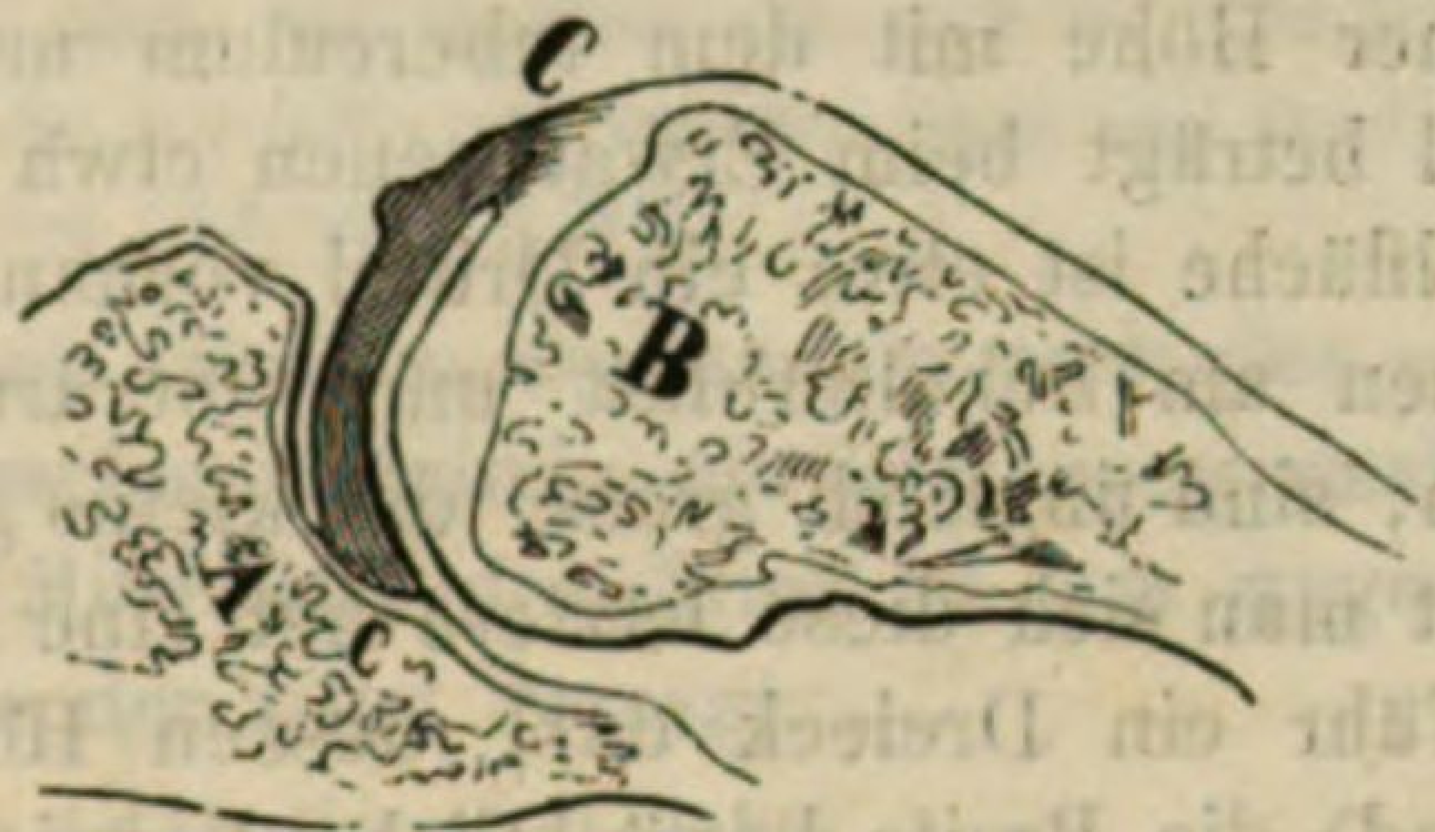
Brust-Schlüsselbeingelenk. Die Gelenkfläche des Sternums ist in der Richtung von hinten zu vorn convex nach oben gebogen, Fig. 130 *A*; von innen zu aussen ist sie concav nach oben Fig. 131 *A*. Die Krümmungsgesetze beider Flächen sind unbekannt. Die Krümmung des Schlüsselbeinkopfes von hinten zu vorn entfernt sich wenigstens nicht allzusehr von einer Kreislinie Fig. 130 *B*; auch im Durchschnitt des Kopfes von rechts zu links Fig. 131 *B* bietet sich am obern innern Theil eine sehr schwache, am äussern untern Theil eine starke Krümmung, die vielleicht einem Kreis angehört.

Zwischen beiden Gelenkflächen ist ein starker Meniscus eingeschoben, der vorn und innen vorzüglich an dem Schlüsselbeinkopf, aussen

Fig. 130



Fig. 131.



und hinten aber an der Sternalfläche liegt; somit erscheint er auf jedem der beiden dargestellten Schnitte *CC*. — Der letztern Biegung entsprechend kann der Schlüsselbeinkopf von hinten nach vorn rollen, um eine Achse, welche im Allgemeinen durch ihn horizontal in der Richtung von vorn nach hinten geht; diese Bewegung hebt und senkt das Schlüsselbein; Beschränkungen erleidet sie durch das Aufrollen des Meniscus, durch das ligam. interclaviculare, costoclaviculare und die erste Rippe. — Die andere dem Schlüsselbein zukommende Bewegung, bei welcher sein Körper von hinten nach vorn tritt, ist weniger klar; es lässt sich über dieselbe ohne eine genauere noch fehlende Untersuchung nur aussagen, dass die Bewegung gehemmt werde durch die ligam. coraco-clavicularia und den Meniscus. Dieses wichtige und complizirte Gelenk verdient vor allem eine gründliche Untersuchung.

Schulterblatt-Schlüsselbeingelenk. Um dieses schmale Gelenk sind verschiedene Verbiegungen des Schulterblatts zulässig; zuerst ein Vor- und Rückwärtsrücken desselben, das sich zu der entsprechenden Bewegung des Schlüsselbeins am Sternum addirt. Diese Bewegung wird gehemmt durch einen starken Sehnenstreifen, der von der Mitte des Schlüsselbeins zum proc. coracoideus tritt, welcher sich anspannt, wenn das Schulterblatt nach hinten geht. Eine zweite Bewegung führt das Schulterblatt um eine Achse aus, welche von dem untern Winkel desselben gegen dieses Gelenk zu ziehen ist. Bei ihr hebt sich der untere Schulter-

blattwinkel von der Rippe abhebt; sie wird durch einen Bandstreifen gehemmt, der auf der hintern Rumpfpfläche von innen nach aussen, von den Rippen zum Schulterblatt läuft.

Achselgelenk. Der Mittelpunkt, um welchen die kugeligen Gelenkflächen beschrieben sind, liegt im Oberarm ungefähr in gleicher Höhe mit dem tuberculum majus. Der Halbmesser der Kugel beträgt beim Erwachsenen etwa 32 MM.; von der ganzen Kugelfläche ist etwa ein Drittel vorhanden (Henle). Die beiden Flächen am Schulterblatt und Oberarmbein, welche aufeinander gehen, sind ungleich gross; die kleine gehört dem Schulterblatt an. Denkt man sich diese letztere auf eine Ebene projizirt, so stellt sie ungefähr ein Dreieck dar, dessen Höhe (von oben nach unten laufend) die Breite beträchtlich überwiegt; die obere Spitze dieses Dreiecks kommt nach der Schulterhöhe hin zu stehen; im Horizontalschnitt ist die Schulterblattfläche etwa ein halb mal, im Vertikalschnitt etwa dreiviertel mal so gross wie die Fläche des Kopfs. Hemmungen der Bewegung geben ab das acromion, der proc. coracoideus, ligam. capsulare und coraco-acromiale und die zu den Gelenkenden verlaufenden Muskeln. Da auch dieses Gelenk luftleer ist, so wird die Fläche durch den Luftdruck zusammengepresst. Dieser Luftdruck genügt jedoch nicht, die beiden Flächen in Berührung zu halten, da der Arm nach unten aus der Gelenkpfanne tritt, wenn der m. deltoideus gelähmt ist (Baum); in der That geht auch aus der Richtung, welche die Resultirende des die Flächen zusammenpressenden Luftdrucks annimmt, hervor, dass er beim Herunterhängen des Armes der Schwere desselben nicht das Gleichgewicht halten kann.

Ellenbogengelenk*). Das Ulnargelenk ist ein Schraubencharnier (Langer), am rechten Arm ist die Schraube rechts, am linken links gewunden. Die Höhe des (vollständig gedachten) Schraubengangs variirt vom kaum merklichen bis zu 4 MM. (Meissner). Der Gang wird gesichert durch die Vertiefung und die Ränder der trochlea. Die Achse des Gelenkes geht durch die beiden Condylen und berührt namentlich deren Flächen an dem Ansatzpunkt der ligamenta lateralia. Die Berührung der beiden Gelenkflächen wird durch die ligamenta lateralia bewerkstelligt; Hemmungen geben die processus coronoideus und anconaeus und die in der Vorderwand der Kapsel verlaufenden Sehnenstreifen (Henle).

*) Meissner, Jahresbericht für 1856. p. 515.

Das Radialgelenk ist ein flaches Kugelsegment; sein Drehpunkt fällt in die Achse des Ulnargelenkes; es ist darum im Stande, den Bewegungen desselben zu folgen.

Schneidet man die Gelenkflächen*) senkrecht gegen die Drehungsachse, so findet man bei verschiedenen Individuen die Begrenzungslinie der Schnittfläche um folgende Radien beschrieben. Den medialen Rand der Trochlea von 16,5 bis 12,5 MM., an der Furche der Trochlea von 11,0 bis 9,0 MM., am lateralen Rand der Trochlea von 12,5 bis 9,5 MM. Das Capitulum von 12,5 bis 9,0 MM.

Ausser der beschriebenen ist dem Radius nur noch eine andere Drehung um die Supinationsachse möglich; die Bewegung nach der dritten Richtung gegen die Mittellinie des Arms ist ihm wegen der Einspannung des Radius an der Ulna versagt.

Supinations- und Pronations-Gelenke. Sie werden durch vier Paare von Gelenkflächen dargestellt; zwischen der superficies capitata humeri und dem radius; dem capitulum radii und fossa sigmoidea minor ulnae; dem capitulum ulnae und der incisura semilunaris radii; dem capitulum ulnae und der cartilago triquetra. — Die gemeinsame Achse Fig. 132 *I. II*, um welche die Drehung erfolgt, ist eine Linie, welche aus dem Mittelpunkt der superficies capitata humeri gegen den Anheftungspunkt der cartilago triquetra am process. styloideus ulnae verlaufend gedacht werden muss. Um diese Achse ragen zur Sicherung des Ganges auf entgegengesetzten Seiten zwei Cylinderflächen am obern Ende des Radius und am untern der Ulna hervor; von diesen ist die zwischen fossa sigmoidea ulnae und capitulum radii gelegene noch durch das ligam. annulare regulirt. — Gehemmt wird die Bewegung durch die untern schiefen Fasern des ligam. annulare (Henle), die chorda transversalis und den processus styloideus ulnae. — Damit die Bewegung geschehen kann, muss begreiflich die Hand vor dem radius eine andere Beweglichkeit besitzen, als vor der ulna, oder es muss bei der einmal gegebenen Einrichtung die am Radius befestigte Hand an der Ulna sich drehen

Fig. 132.

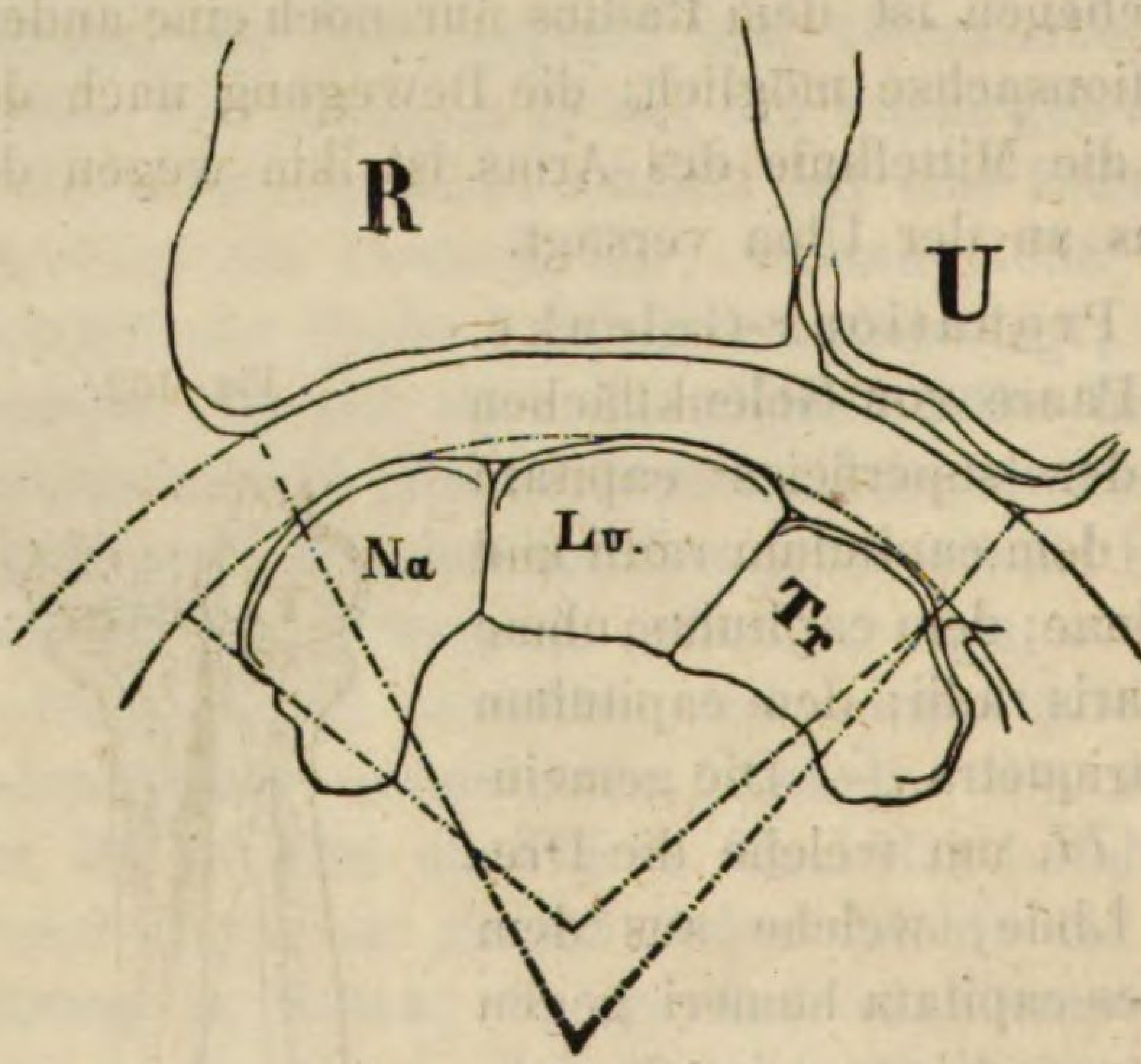


*) Henle, l. c. p. 74.

können. Diese Bedingung ist durch das Gelenk zwischen cart. triquetra und ulna verwirklicht. —

Vorderarm-Handwurzelgelenk*). Erstes Handgelenk. Dieses Gelenk ist nach zwei Richtungen gebogen; von der vola zum dorsum und von dem Ulnarrand zum Radialrand. a) Die Biegung von rechts nach links, Fig. 133**). Am Vorderarm, wo die Fläche durch den Radius und die cart. triquetra dargestellt wird, geht die Krümmung nach einer Kreislinie; das vorhandene Stück derselben umspannt gegen 69⁰. Die andere von dem oss. naviculare, lunatum und triquetrum dargestellte Fläche weicht in ihrer Biegung beträchtlich von einem Kreisbogen ab, namentlich gegen das os naviculare hin. Der Bogen, der am annäherndsten für sie gilt, umspannt 110⁰. Der Halbmesser desselben verhält sich zu demjenigen, welcher den Bogen am Vorderarm bestimmt = 13:18,5. Ueber Bogenbestimmungen für die Krümmung der einzelnen Knochen siehe in der vergleichsweise ausgezeichneten Abhandlung von Günther.

Fig. 133.



b) Die Biegung vom Rücken zur Hohlhand Fig. 134. *V* bedeutet vola***). Die Fläche am Radius und der cartilago triquetra ist auch in dieser Richtung nach einer Kreislinie gebogen. Der Halbmesser des Kreises am Radius ist kleiner als der an der cartilago triquetra. Sie verhalten sich zu einander wie 8:9,5. Die Bogengrade, welche die Kreise umspannen, sind vom Radialrand gegen den Ulnarrand im Wachsen begriffen, sie steigen von 58⁰ bis 68⁰; der Halbmesser dieser Krümmung verhält sich zu dem in

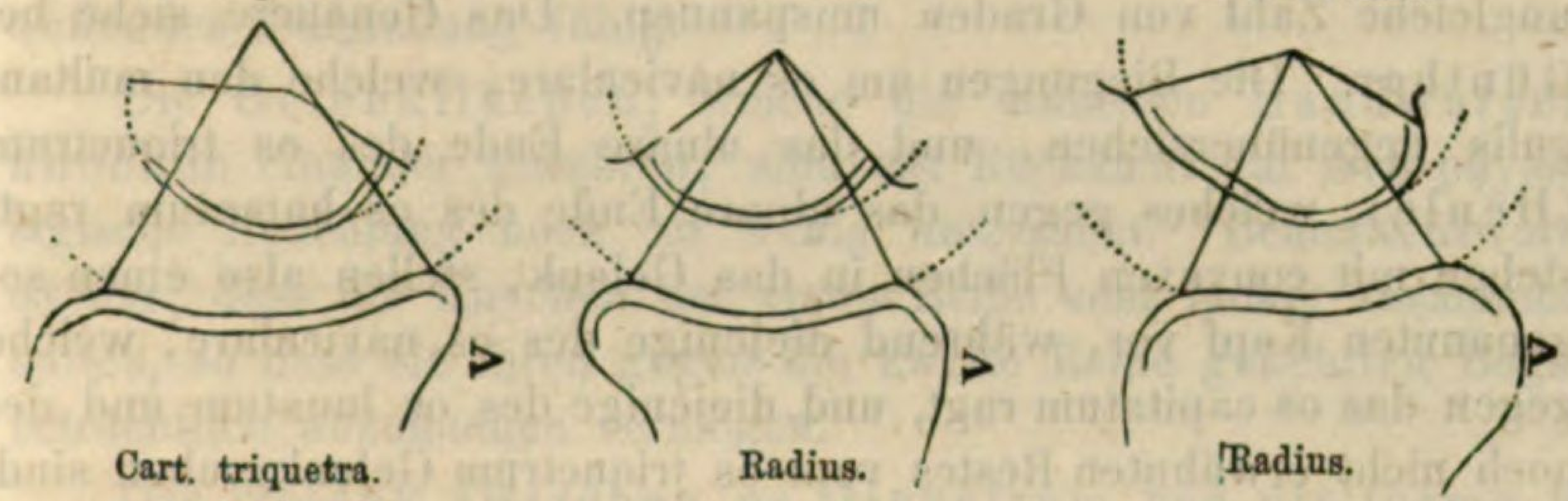
*) Günther, das Handgelenk. 1841.

**) Günther, l. c. Taf. V. Fig. 4.

***) Günther, l. c. Taf. VI.

der andern Richtung wie 8 und 9,5 : 18,5. — Die Krümmung an dem Handwurzelknochen folgt dagegen einem andern Gesetz. Gegen den Rücken schliesst sie sich wohl ziemlich annähernd einem Kreisbogen an, gegen die Hohlhand fällt sie dagegen scharf nach innen.

Fig. 134.

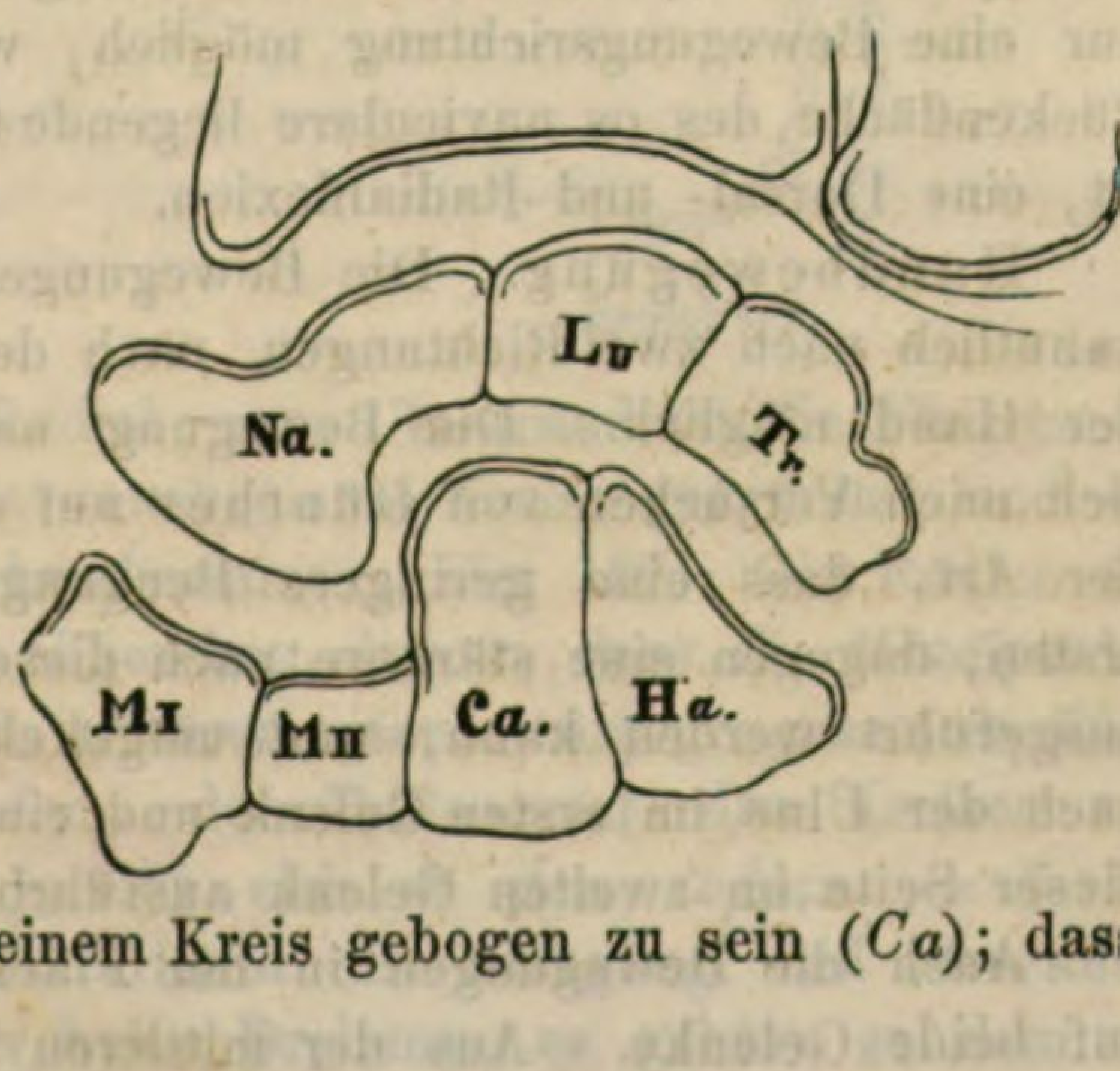


Der Halbmesser des Bogens, welcher am meisten der Biegung sich annähert, ist am os triquetrum kleiner, als am naviculare und lunatum; er verhält sich zu diesem wie $4^1/_2 : 5^1/_2$. Die Gradzahl dieser Bogen wächst vom os triquetrum gegen os naviculare, gerade umgekehrt wie an der Armfläche, von 108° bis 130°.

Diesen Biegungen gemäss kann das erste Handgelenk eine Beugung von der Ulnar- zur Radialseite, und eine zweite von der Rücken- zur Hohlfläche ausführen.

Handwurzel - Handwurzelgelenk. Zweites Handgelenk. Dieses sehr eigenthümliche Gelenk bedarf vorzugsweise noch der genaueren Analyse.

Fig. 135.



a) Die Biegung, die dasselbe vom Ulnar- gegen den Radialrand zeigt, ist in Fig. 135 *) dargestellt. Der am os multangulum majus (M I) und minus (M II) vorhandene Durchschnitt ist annähernd nach einer Kreislinie gebogen und ebenso der ihnen zugekehrte Schnitt des os naviculare; — os capitatum scheint ebenfalls nach einem Kreis gebogen zu sein (*Ca*); dass

*) Günther l. c. Taf. VII.

in einem solchen Gelenk keine einfache Seitwärtsbewegung der Hand möglich, leuchtet von selbst ein. b) Die Biegung von dem Handrücken zur Hohlhand gestaltet sich an jedem Knochen verschieden. Im Allgemeinen nähern sich die an der ersten Reihe der Handwurzelknochen gelegenen Schnitte einer Kreiskrümmung, die aber mit sehr verschiedenen Halbmessern gezogen sind, und eine ungleiche Zahl von Graden umspannen. Das Genauere siehe bei Günther. Die Biegungen am os naviculare, welche den multangulis gegenüberstehen, und das ulnare Ende des os triquetrum (Henle), welches gegen das ulnare Ende des os hamatum ragt, stehen mit convexen Flächen in das Gelenk, stellen also einen sogenannten Kopf vor, während diejenige des os naviculare, welche gegen das os capitatum ragt, und diejenige des os lunatum und des noch nicht erwähnten Restes vom os triquetrum Gelenkgruben sind. — Viel unregelmässiger sind die der zweiten Handwurzelreihe angehörigen Gelenkflächen gebogen. Ihr Gesetz ist vorerst unklar.

Um eine leichtfassliche Anschauung zu gewinnnn, kann man mit Henle folgenden Gedankengang einschlagen. Man denke sich an der Stelle der oberen Reihe der Handwurzelknochen einen kugeligen Kopf, an der Stelle der unteren Reihe eine entsprechende kugelförmig ausgehöhlte Pfanne. Aus dieser Pfanne steigt ein cylindrischer, an der Spitze kugelförmig abgerundeter Zapfen auf, welcher in einer entsprechenden Höhle des kugelförmigen Gelenkkopfes Aufnahme findet Trennt man aus diesem Gelenk durch nahezu parallel vertikale Schnitte ein plattes Stück, welches den Zapfen enthält, so hat man die wesentlichsten Bestandtheile des zweiten Handgelenks.

Die Bewegungen, welche im Gelenke ausführbar sind, geschehen wahrscheinlich um einen in dem Kopf des os capitatum gelegenen Mittelpunkt; wegen seiner Verbindung mit den übrigen ist aber nur eine Bewegungsrichtung möglich, welche durch die auf der Rückenfläche des os naviculare liegende Gelenkfläche vorgezeichnet ist, eine Dorsal- und Radialflexion.

Handbewegung. Die Bewegungen im Handgelenk sind bekanntlich nach zwei Richtungen, nach der Fläche und den Rändern der Hand möglich. Die Bewegung nach den Rändern vertheilt sich nach Versuchen von Günther auf die beiden Handgelenke in der Art, dass eine geringere Beugung nach der Radialseite im ersten, dagegen eine stärkere nach dieser Seite im zweiten Gelenk ausgeführt werden kann, und umgekehrt eine stärkere Beugung nach der Ulna im ersten Gelenk und eine schwache Beugung nach dieser Seite im zweiten Gelenk ausführbar ist.

Auch die Bewegungen in der Fläche vertheilen sich ähnlich auf beide Gelenke. Aus der mittleren Lage kann die Hand nur

durch das erste Gelenk in die Flexion (Volarflexion) gebracht werden; in die Streckung dagegen kommt sie nur bis zu sehr unbedeutendem Grade durch das erste, vorzüglich aber durch das zweite Gelenk. — Ausser diesen wichtigsten Bewegungen können auch noch pronirende und supinirende in den beiden Gelenken auftreten (Günther).

Die Bänder sind noch keiner übersichtlichen, die Funktion scharf treffenden Darstellung fähig.

Die Gelenkflächen, welche die einzelnen Handwurzelknochen einander zukehren, sind mit Rücksicht auf ihre physiologische Bedeutung noch zu wenig untersucht. Bemerkenswerth ist nur, dass die Knochen der ersten Reihe sehr locker zusammenhaften, so dass sie ihren gegen die zweite Reihe gekehrten Bogen beträchtlich abzuflachen vermögen.

Das Gelenk zwischen os triquetrum und pisiforme ist ein allseitig sehr freies; es ist bekanntlich nur zur Führung eines Muskelansatzpunktes von Bedeutung.

Handwurzel-Mittelhandgelenke.

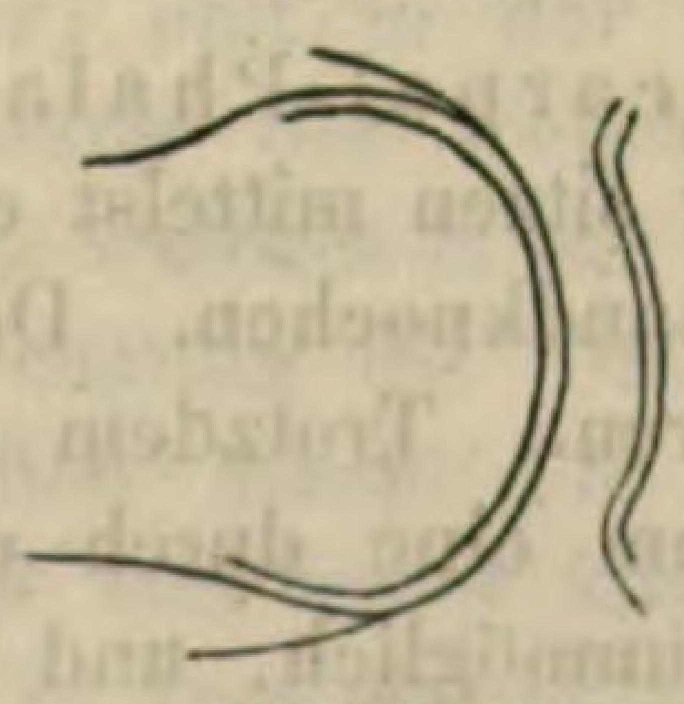
A) Das Mittelhandgelenk des Daumens ist nach zwei Richtungen gebogen; vom Rücken zur Vola ist das os multangulum O. M. I., Fig. 136, an der Fingerseite convex nach einem noch unbekannten Gesetz gekrümmt, der Daumenknochen aber nach

Fig. 136.



Vola

Fig. 137.



Radialrand

einem Kreis. Von dem Radial- zum Ulnarrand ist die Fingerseite des os multangulum concav nach einem Kreise gekrümmt, und der Daumenknochen entsprechend convex, Fig. 137. Die Radien der Daumenkrümmung sind, abgesehen davon, dass die Mittelpunkte der Kreise, zu denen sie gehören, nach entgegengesetzten Richtungen liegen, verschieden; der Halbmesser des Kreises von der Vola zum Dorsum verhält sich zu den andern = 7 : 5,5 (Günther). Das Gelenk erlaubt also Beugung und Streckung, Ab- und Adduktion, aber keine Drehung; es gehört zu dem von

Ad. Fick *) als Sattelgelenke bezeichneten, bei welchen von den senkrecht zu einander stehenden Drehungsachsen je eine einem der beiden Gelenkknochen angehört.

Die Bänder, welche die Bewegung beschränken, gehen vorzugsweise von der Rücken- und Hohlfläche des os multangulum schief gegen den Rand und namentlich die hervorragenden Punkte des Daumenknochens. Sie spannen sich beim Abrollen der Gelenkfläche. —

B) Die Mittelhandgelenke der Finger sind nach demselben Prinzip eingerichtet. Einer bemerkenswerthen Beweglichkeit erfreut sich aber nur das Mittelhandgelenk des kleinen und des Ringfingers: Mittel- und Zeigefinger sind in der Mittelhand ziemlich unbeweglich. Für diese letztern Mittelhandknochen ist es darum bedeutend, dass gerade ihre Basaltheile (die Handwurzelknochen) überall von Spalten, die sich bis zum nächsten sehr beweglichen Theil erstrecken, umgeben sind.

Die Metacarpal-Carpalgelenke bedingen vorzugsweise die Wölbung der Hand von rechts nach links; doch sind sie nach Günther nicht die einzigen Handwölber; auch die erste Reihe der Handwurzelknochen gehört zu ihnen. Ein Blick auf die Volarseite derselben und namentlich ihrer Berührungsflächen, sowohl untereinander als mit der zweiten Handwurzelreihe, zeigt, dass ihnen eine solche Bewegung möglich sein muss.

Metacarpal-Phalangengelenke. Die ersten Phalangen der Finger sitzen mittelst einer Hohlkugel auf dem kugeligen Kopfe der Mittelhandknochen. Der Drehungsmittelpunkt liegt demnach in den letzteren. Trotzdem sind die Bewegungen sehr beschränkt; Drehung um eine durch die Längenrichtung der Finger gelegte Achse ist unmöglich, und bei einem beträchtlichen Grad der Beugung hört, wie H. Meyer zuerst bemerkte, auch das Vermögen der Ab- und Adduktion auf. Der Grund dieser Hemmungen ist in den Lateralbändern zu suchen, welche, ausserhalb des Drehungsmittelpunktes sitzend, namentlich bei der Beugung sehr gespannt werden. —

Alle übrigen Finger- und Daumengelenke enthalten Cylinderflächen mit sanduhrartiger Biegung und sind darum wie die Ulna am Oberarm nur nach einer Richtung beweglich.

*) Henle's u. Pfeufer's Zeitschrift. N. F. IV. 314.

Die Sesambeinchen des Daumens sind Muskelknochen zur Fixirung eines Sehnenansatzes.

Hüftgelenk *). Dieses Gelenk ist bekanntlich ein Nussgelenk; der Mittelpunkt der Kugel ist ungefähr gegenüber der halben Höhe des grossen Trochanter zu suchen. Der dem Becken angehörige Abschnitt der Hohlfläche umspannt eine geringere Zahl von Graden, als die Kugel des Oberschenkels. Die Horizontalprojektion der Berührungsstellen beider Gelenkflächen ist nach Ed. Weber ungefähr so gross, dass dieselbe, mit einer dem mittleren Barometerstand entsprechend hohen Quecksilbersäule multiplizirt, ein Gewicht gibt, welches annähernd der Schwere des ganzen Beins gleichkommt. Aus diesem Grunde ruht der Schenkel aequilibrirt in der Gelenkpfanne, d. h. er wird ungefähr mit derselben Gewalt nach oben gedrückt, mit der er zu fallen strebt, und übt darum keinen Druck auf seine Lagerstätte aus. Desshalb ist die Reibung bei seinen Bewegungen auch so sehr gering. Vor allem Andern ist an dieser Pfanne das supercilium cartilagineum ausgebildet, welches nach Weber den Kopf bei Drehungen in der Pfanne fortwährend glättet und sich elastisch an ihn anlegt, und somit das Eindringen von Flüssigkeit in die Gelenkhöhle verhindert. — Die Bewegungen werden gehemmt durch die schwach sehnige Kapsel, welche überall an die Ränder gewachsen bei jeder Bewegung gespannt und gedreht wird; durch das ligamentum superius (ileo-femorale), welches die Ueberstreckung hindert (Ed. Weber) und in der Streckung den Kopf in die Pfanne bis zur Berührung der Knochenflächen zieht (Henle); durch das ligament. teres, welches in der Streckung die Adduktion (Weber) und in der Beugung die Drehung des Rumpfes um seine Längenachse unmöglich macht (H. Meyer). Diese beiden letzten Bänder (lig. superius und teres) sind der Art gelagert, dass die mittleren Theile beider in zwei aufeinander senkrechten Ebenen, wie sich dieses schon aus der Angabe ihrer Wirkungen versteht, liegen. — Henle bestreitet die Hemmungsarbeit des lig. teres; so lange die Kapsel unversehrt ist, soll das lig. ilieo-femorale schon die Adduktion hemmen, bevor sich noch das lig. teres spannt. Der Versuch, der dieses lehrt, wird entweder so ausgeführt, dass das Gelenk durch einen von rechts nach links fallenden Schnitt so zerlegt wird, dass der Ansatz des Bandes ganz in das hintere Segment fällt; das vordere kann dann nicht weiter

*) Ed. u. W. Weber, Mechanik der Gehwerkzeuge.

adduzirt werden als das hintere. Oder man öffnet das sonst unverletzte Gelenk von der Beckenseite her, und beobachtet die Veränderungen der Bandspannung bei den Bewegungen. — Ueber das lig. ileotibiale siehe das aufrechte Stehen.

Kniegelenk *). Beide Condylen des Kniegelenks sind von hinten nach vorn und von rechts nach links gebogen. Auf dem ersteren Durchschnitt der Condylen wachsen von hinten nach vorn die Krümmungshalbmesser sehr bedeutend; in einem von Ed. Weber gemessenen Fall betrug er für die Biegung des hintersten Theiles der Curve 16,9 M.M., für den mittleren 19,8 M.M. und den vordersten 53,0 M.M. Dies leitete schon Weber zu der Annahme, dass die sagittale Schnittcurve der Condylen eine Spirale sein möchte; Langer, welcher in dem Durchschnitt der dem menschlichen Knie sehr ähnlichen Tarsalgelenken der Vögel **) eine logarithmische Spirale wiederfand, vermuthet, dass auch die Sagittalschnitte unseres Gelenkes einer Spirale von veränderlicher Gangweite angehören. — Unter dieser Voraussetzung lässt sich die noch nicht näher bestimmte Krümmung von rechts nach links ohne Zwang nach der (Fig. 116, p. 497) gegebenen Anleitung herstellen, indem sich die Gelenkfläche als eine Zusammenstellung unendlich vieler, jedoch ungleich weit fortgeschrittener Spiralen ansehen lässt. — Die Tibialfläche ist schwach vertieft nach unbekanntem Gesetz; sie empfängt durch die an ihr hängenden beweglichen Semilunarkapseln eine wechselnde Gestalt. —

In dem Knie sind zwei Bewegungen ausführbar. Die eine besteht in einer Beugung und Streckung. Diese Bewegung geschieht nicht um eine, sondern um eine Reihe von Drehungsachsen, indem jedes um einen andern Halbmesser beschriebene Curvenstück der Gelenkfläche sich um den ihm angehörigen Mittelpunkt abwickelt. Daraus folgt, dass jede Drehung um eine Achse geschieht, welche nur einen Moment lang feststeht. Die Achsen schreiten also bei der Bewegung im Condylus und im Raum fort; die Linie, auf der sie im Condylus fortgehen (die Verbindungslinie aller Krümmungsmittelpunkte) ist nach Langer wahrscheinlich selbst wieder eine Spirale. — Ferner muss bei gleicher Winkeldrehung die Grösse des von der Peripherie abgewickelten Stückes von hinten nach vorn zunehmen, entsprechend dem Wachsthum des Radius. Obwohl

*) Ed. u. W. Weber, Mechanik der Gehwerkzeuge. — H. Meyer, Müller's Archiv. 1853. 497.

**) Sitzungsberichte der Wiener Akademie. October 1857.

also alle Bewegungen in der bezeichneten Richtung Drehungen sind, so entsteht doch wegen des Achsenwechsels und wegen der ungleichen Länge der Radien der Anschein des Schleifens und Drehens. — Entwirft man sich die Spurlinie, so zeigt sie einen schraubenförmigen Gang des Gelenks auf; dieser Schraubengang ist auch schon in der ganzen Form des condyl. intern. femoris ausgesprochen. Am rechten Knie geht er rechts und am linken links (Langer). Dem entsprechend macht der Unterschenkel bei der höchsten Streckung eine Drehung nach aussen, was Meyer, ohne den Grund zu kennen, schon angab. Die Berührung zwischen Schenkel- und Schienbeinfläche findet in der Streckung in einer grösseren Ausdehnung statt; in der Beugung nur in einer Linie von eigenthümlicher Gestalt, über deren Form bei Langer nachzusehen. —

Die andere der ausführbaren Bewegungen besteht in einer Drehung des äussern Condylus um den innern; diese Pronation und Supination ist nur in der Beugungsstellung des Gelenkes möglich, da sie in der Streckung durch die gespannten Lateralbänder verhindert wird.

Die Bandmassen des Gelenkes betheiligen sich an der Regulirung der Bewegungen folgendermaassen: die ligamenta lateralia werden bei der Beugung erschlafft, jedoch das innere weniger als das äussere; bei der Streckung spannen sich beide Bänder gleichmässig. Der Grund dieser Spannung und Abspannung liegt darin, dass in der gestreckten Stellung der Abstand des Knochens von der Berührungsfläche bis zum Ansatzpunkte des Bandes grösser ist, als in der Beugung des Gelenkes, Fig. 138 a und 138 b *A A*. Das innere Band erschlafft bei der Beugung weniger als das äussere, weil es nicht wie das äussere nur aus parallelen, sondern auch aus divergirenden Fasern besteht; demgemäss bleibt immer ein Theil derselben gespannt, analog den Lateralbändern der Cylindergelenke. Die Seitenbänder verhindern also die Ueberstreckung und stellen das Gelenk während der aufrechten Stellung steif (Ed. Weber). Die ligam. cruciata sind vorzugsweise in der Beugung des Gelenkes wirksam und bedingen es, dass der Oberschenkelknochen auch in der Beugung auf der Tibia hinrollen muss. Der Mechanismus, durch den sie wirken, liegt darin, dass die am Oberschenkel befindlichen Ansätze in einer geraden Linie liegen. Wenn diese, wie im vorderen Band, bei der Streckung senkrecht

ist (Fig. 139 *A*), so muss sie, wenn sich das Glied um 90° gedreht hat, wagrecht werden (Fig. 140). Daraus folgt, dass der in der

Fig. 138 a.

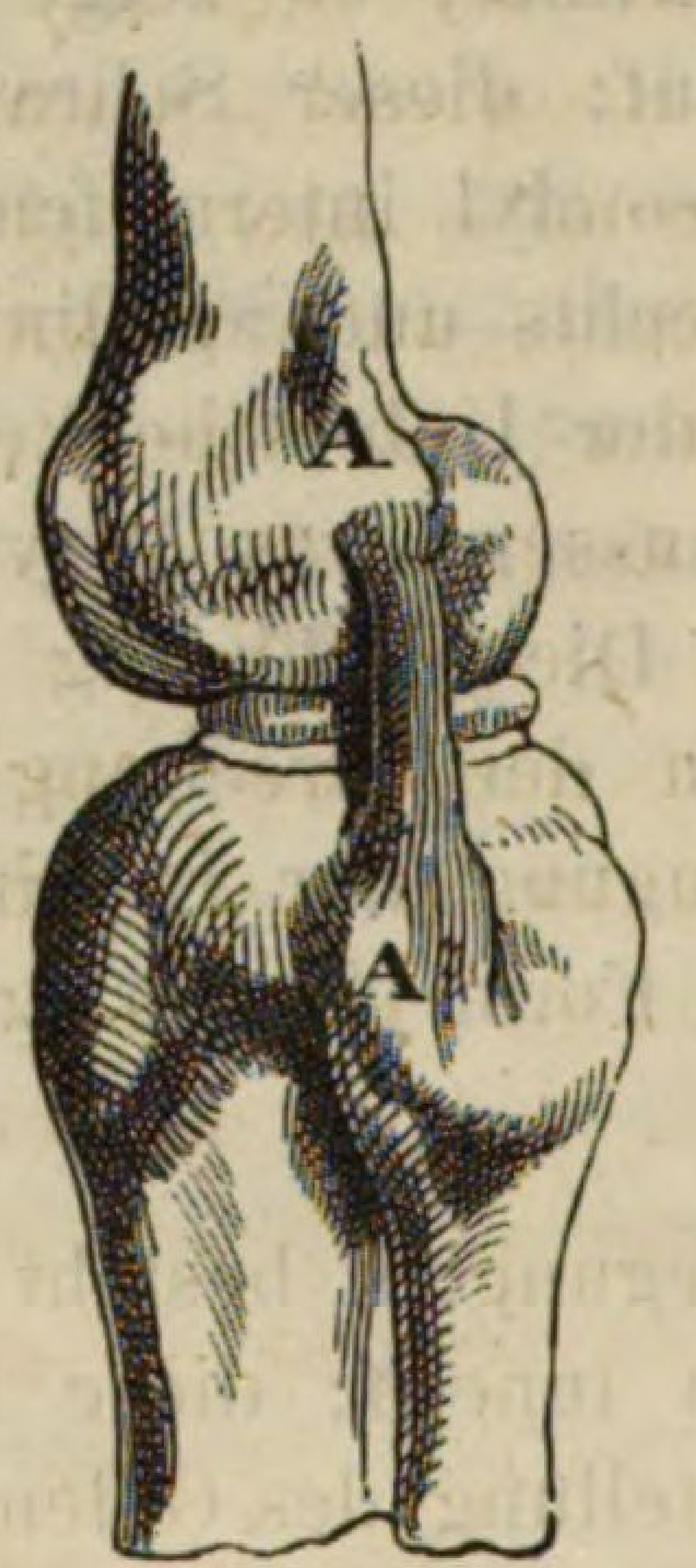


Fig. 138 b.



Streckung erschlaffte hintere Abschnitt bei der Beugung gespannt wird, während der in Streckung gedehnte vordere Theil bei der

Fig. 139.

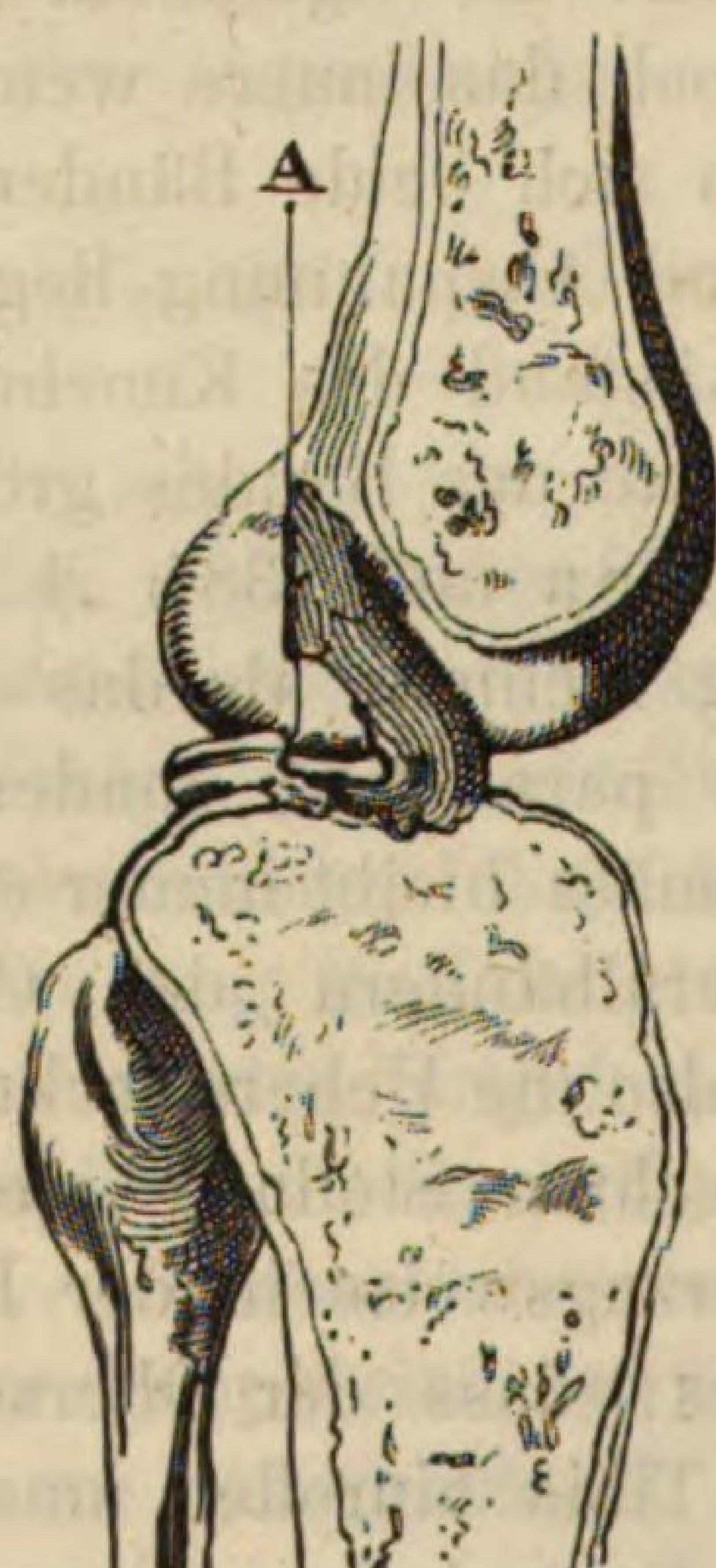


Fig. 140.



Beugung sich abspannt. Wenn nun zwar die Summe der vorhandenen Spannungen der lig. cruciata in vielen Stellungen ungefähr

dieselbe bleibt, so nimmt doch namentlich die des vorderen Bandes bei der extremen Beugung rasch zu, wodurch endlich die Bewegung nach dieser Seite hin an ihre Grenze gelangt. — Von den beiden Halbmondscheiben ist die innere schmälere mit weit aus einander stehenden Enden befestigt, und darum weniger beweglich. Die äussere ist dagegen fast zu einem Ring geschlossen, so dass ihre Anheftungen an der tibia sehr nahe bei einander liegen; sie ist also viel beweglicher und folgt namentlich den Bewegungen des condyl. exter. femoris. Für sie waren demnach auch besondere Hemmungsbänder nöthig; ein hinteres vom Köpfchen der fibula, ein vorderes von der tibia entspringend. Das erstere hemmt die Bewegungen nach vorn, das letztere die Verschiebung nach hinten. In der Streckung des Knies hat die cartilago semilunar. ext. ihre extremste Stellung nach vorn, in der Beugung die äusserste nach hinten (H. Meyer*)). — Die Bänder, an welche die halbmondförmigen Knorpel geheftet sind, stellen den innern in allen Stellungen des Gelenks fest.

Die Fettbänder endlich werden, da das Gelenk luftleer, in die bei der Beugung vorn entstehenden grossen Lücken gedrängt; ihr Gang wird durch die Anheftung an den Oberschenkelknochen gesichert. Sie sind somit Ventile. — Damit sich die Kapsel bei der Streckung nicht einklemme, erhebt sie der m. subcruralis; bei der Beugung des Unterschenkels gegen den Oberschenkel zieht die hintere Wand der m. semimembranosus ab; wenn der Oberschenkel gegen den Unterschenkel herabgezogen wird, geschieht es durch den m. poplitaeus (Henle).

Die Kniescheibe ist ein Sehnenknochen, den man ohne Schaden für den Gang des Kniegelenks am todten Schenkel auslösen kann. Für die Unabhängigkeit des Kniegewerbes von der patella auch am Lebenden spricht ein von Singer beobachteter beachtenswerther Fall, mit luxatio congenita beider Kniescheiben **).

Der obere und vordere Theil der Gelenkfläche, auf welchem die Kniescheibe geht, ist die convexe Fortsetzung des condylus externus, und die concave der fossa intercondyloidea, hinzu kommt bei der Beugung das mediale Stück des condyl. internus. Dem entsprechend zeigt von rechts nach links die hintere Kniescheibenfläche aussen eine concave, mehr nach innen eine convexe Biegung, welche ganz nach innen unter einer scharfen Kante abgesetzt ist; jenseits dieser liegt die dem medialen Stück des condylus internus entsprechende Fläche. Beim Uebergang aus der Beugung in die Streckung liegt zuerst der oberste Theil der Kniescheibe auf dem untersten Stück der Schenkelfläche und bei der Streckung deckt der untere Abschnitt der Kniescheibe den obern der am Schenkel vorhandenen Fläche. — Da der Oberschenkel in der vollen

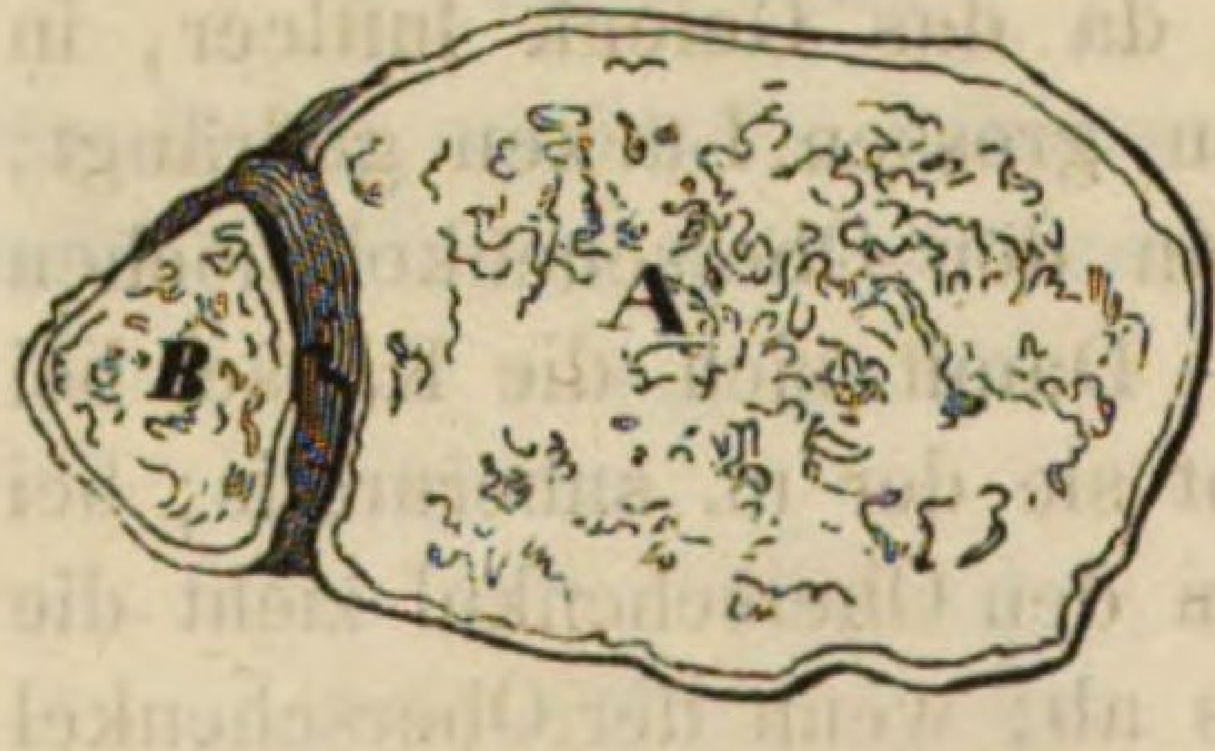
*) Müller's Archiv. 1853. p. 497

**) Zeitschrift der Gesellschaft der Wiener Aerzte. 1856. p. 295.

Streckung wegen der Schraubenbewegung nicht in einer geraden mit der Tibia bleibt, so bildet in dieser Stellung auch die Sehne des Triceps und des ligament. petellae einen nach aussen concaven Winkel (H. Meyer, Langer).

Tibial-Fibulargelenke. Das obere ist ein Berührungsgelenk mit überknorpelten Gelenkflächen. Die der Fibula angehörige Fläche zerfällt in einen schwach- und einen starkabschüssigen Theil. Dem ersteren kommen nach Henke *) Bewegungen auf der entsprechenden Tibialfläche und zwar um eine Achse zu, welche von oben nach unten jedoch so läuft, dass ihr unteres Ende etwas nach hinten und aussen steht. Diese Achse schneidet auf dem vorderen etwas zugespitzten Ende der Gelenkfläche ein. Bei den Bewegungen um sie hebt sich der abschüssige Theil der Fibularfläche von der entsprechenden der Tibia ab. — Im unteren Gelenke berühren sich die beiden Knochen nicht unmittelbar; zwischen beide ist ein aus Bindegewebe und Fett bestehendes Polster gelegt, so dass sich die fibula ebensowohl um ein Geringes von der tibia entfernen, als auch um die tibia drehen kann. Einen Querschnitt des Gelenkes stellt Fig. 141 dar, in wecher *A* die tibia und *B* die fibula bedeutet. Hemmungen gewähren die Befestigung der fibula im obern Gelenk und die lig. tibio-fibularia inferiora. Die Bewegungen der Fibula kommen dem folgenden Gelenk zu Gute, durch dessen Drehungen sie auch eingeleitet werden.

Fig. 141.



Erstes Fussgelenk. Der Kopf des Astragalus ist ein Stück einer Rolle, deren Achse durch die äusserte Spitze des malleolus externus von rechts nach links läuft. Die obere Fläche der Rolle ist von rechts nach links ausgehöhlt, ihre äussere Kante ist gegen das hintere Ende hin abgestumpft. Von oben gesehen ist die Rolle (Fig. 142) vorn beträchtlich breiter als hinten (H. Meyer). Die Seitenwand, welche sie gegen den malleolus der tibia wendet, ist sehr kurz, von beträchtlicher Länge aber die gegen den malleolus der fibula gerichtete. Die obere und innere Fläche

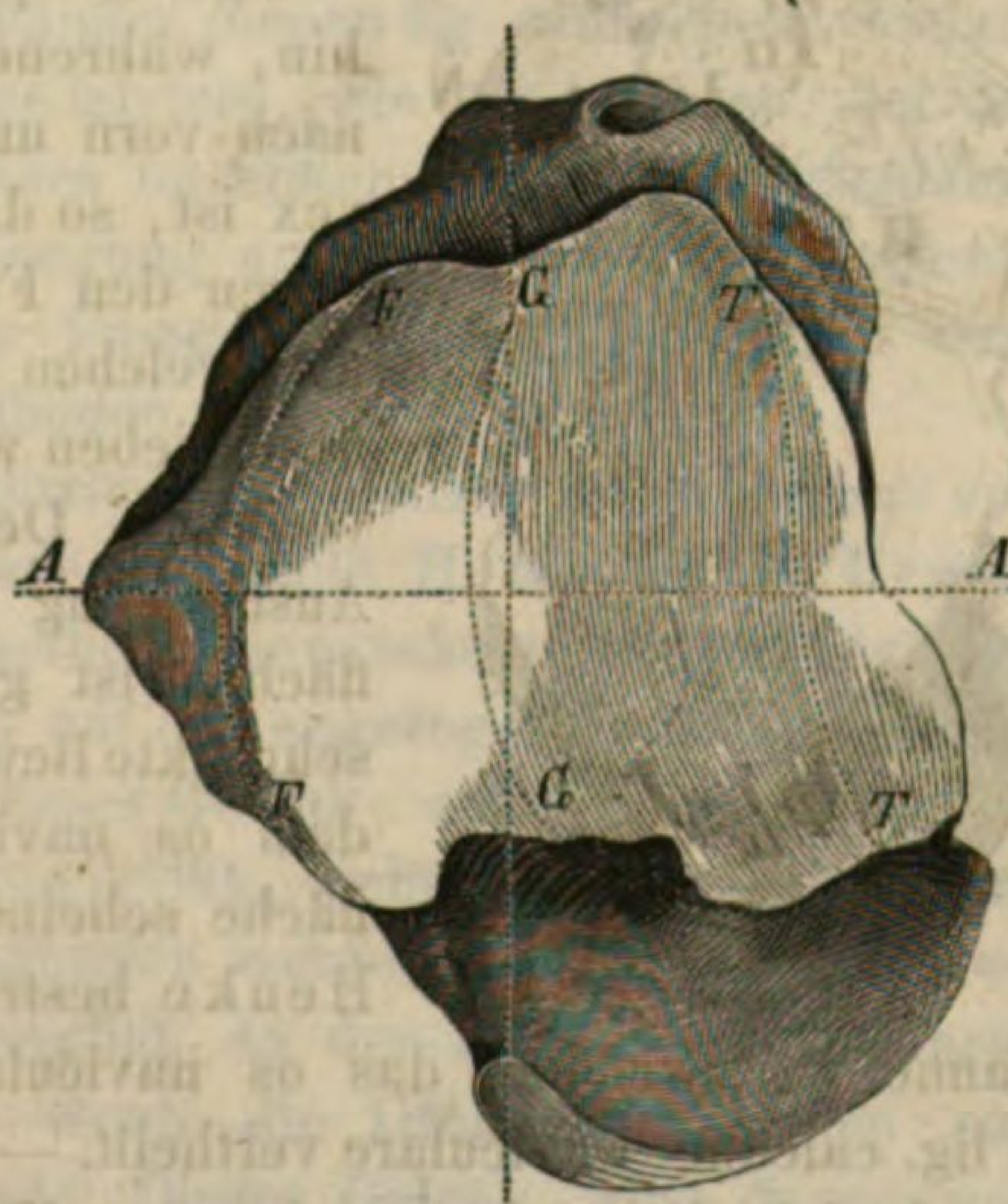
Fig. 142.



*) Henle's u. Pfeufer's Zeitschrift N. F. VIII. Bd. 152.

der Gelenkhöhle bildet die tibia, die äussere Seitenwand derselben aber die fibula. Durch diese Bildung der Gelenkhöhle aus zwei aneinander beweglichen Knochen wird es möglich, ihr einen wechselnden Durchmesser zu geben, wie ihn die verschiedene Breite der Talusrolle bei ihrem Durchgang durch das Gelenk verlangt. — Die Bewegung der Tibia auf der obern Rollenfläche geht, wie Langer*) gezeigt hat, schraubenförmig und nicht einfach charnierartig vor sich. Denn wenn die Richtung der Bewegung (Ganglinie) auf die Achse der Sprungrolle projizirt wird, so liegt sie nicht senkrecht, sondern schief gegen sie; es verknüpft sich also in der Ganglinie die zur Achse senkrecht mit der zur Achse parallelen Richtung, mit andern Worten, die Tibialfläche ist auf der Sprungrolle hergegangen wie eine Schraubenmutter auf einer Schraubenspindel. — Diese Schraube ist am rechten Fuss nach links und am linken nach rechts gekehrt; die Höhe des Schraubengangs dürfte sich bis auf 12 bis 14 MM. belaufen, und da am Sprungbein etwa nur der 4. bis 5. Theil eines ganzen Umgangs dargestellt ist, so beträgt die grösste Verschiebung, welche die Mutter in der Richtung der Achse erfährt, etwa 3 MM. — Vergleicht man die Neigungen des innern und äussern Randes der Talusrolle mit derjenigen der Ganglinie zur Achse, so ergibt sich, dass die Tibialkante weniger (Langer), die Fibularkante mehr gegen die Achse geneigt ist (Henke**)), als die Ganglinie. In einer Projection auf die Achse würden sich die drei Linien schematisch ungefähr wie in (Fig. 143) ausnehmen. *AA* ist die Achse, *TT* die Tibial-, *FF* die Fibularkante und *GG* die Ganglinie. Daraus folgt, dass sich bei dem Gang des Unterschenkels von vorn nach hinten der Malleolus der

Fig. 143.



*) Den Schriften der Wiener Akademie. VII. Bd. (1856.)
**) Henle's u. Pfeufer's Zeitschrift N. F. VII. 225. VIII. 149.

Tibia vorn an die Seitenfläche des Talus anschliesst und hinten von ihr absteht, während der Wadenbeinknöchel zwar immer der Seitenfläche des Talus anliegt, sich aber nur hinten (in der Streckung) an die Tibia anschliesst und vorn dagegen (in der Beugung) sich von ihr entfernt; dieses letztere geschieht darum, weil der Schraubengang, in welchem die Fibula geht, steiler ansteigt als die Ganglinie der Tibia (Henke). — Hemmungs- und Haftbänder zugleich sind die lig. tali-tibialia, lig. tali-fibularia und lig. calcaneo-fibulare; aus der bekannten Lagerung derselben sind die Gelenkstellungen, bei denen sie gespannt oder erschlafft sind, leicht abzuleiten.

Zweites Fussgelenk. Der Talus kann sich an den ihn begrenzenden ossa calcanei und naviculare verschieben; dieses Gelenk ist auf drei Flächen vertheilt, von denen zwei gegen den calcaneus und eine gegen das os naviculare hinsehen. Die beiden nach dem Fersenbein zugewendeten Flächen des talus sind im Allgemeinen Abschnitte von Ringen, die jedoch nach entgegengesetzten Richtungen gebogen sind. Die hintere Fläche *H* in Fig. 144, die einen diagonal durch den Talus geführten Durchschnitt darstellt, ist nämlich von rechts nach links und von hinten nach vorn concav, d. h. ihr Krümmungsmittelpunkt liegt nach der Fusssohle hin, während die vordere (*V*) von hinten nach vorn und von rechts nach links convex ist, so dass ihr Krümmungsmittelpunkt gegen den Fussrücken liegt. Der Radius, um welchen die hintere krumme Fläche beschrieben wurde, ist kürzer, als der der vordern. Der Unterschied zwischen der Ausdehnung der Talus- und Calcaneusflächen ist gering, so dass eine nur beschränkte Bewegung möglich ist. — Die nach dem os naviculare hinschauende Gelenkfläche scheint ein Kugelstück, was jedoch Henke bestreitet; die ihm entsprechende Pfanne ist zwischen das os naviculare und auf eine Verdickung im lig. calcaneo-naviculare vertheilt. — Wenn die Fusssohle auf horizontalem Boden steht, so passen die nach unten gerichteten convexen und concaven Gelenkflächen genau auf einander, in andern Stellungen passen nur einzelne Abschnitte, während andere klaffen. Die Ganglinien beider Gelenke laufen schief von aussen nach innen,

Fig. 144.



einander paralell (?), sie werden in umgekehrter Richtung von den einzelnen Gelenkstücken beschrieben, da das hintere Gelenk nach aussen läuft, wenn das vordere nach innen geht. Der Kopf schliesst dagegen in allen Stellungen an seine Pfanne.

Zu einem Verständniss dieses Gelenkes gelangt man, nach einer mündlichen Mittheilung von Reder, wenn man die Mittelpunkte der Kreise, von denen die Ganglinien im hintern und vordern Sprung-Fersenbeingelenke ein Stück bilden, durch eine Linie verbindet und diese als Achse der Bewegung ansieht; diese Achse muss von unten, hinten, aussen nach oben, innen vorn verlaufen; in der That ist um die Achse eine Bewegung möglich, die dem wahren Gang des Talus entspricht; und wenn der Kopf unter dieser Voraussetzung nicht um eine seiner geometrischen Achsen bewegt wird, so kann dieses der Beweglichkeit keinen Eintrag thun, weil die Pfanne des Kopfes elastisch ist. Die Achse muss aber als bestimmende in Betracht kommen, weil den unteren Gelenken die Bahn auf's genaueste durch Knochen und Band vorgezeichnet ist. Man vermuthet auch hier einen schraubenförmigen Gang um die Achse. — Das Zusammenheften zwischen talus und Fersenbein wird durch den apparatus ligamentosus *LL* bedingt, als wesentliche Beschränkungsbänder dienen lig. calcaneo-naviculare und calcaneo-fibulare. Da dieses letztere, wie wir erfuhren, bei der vollkommenen Beugung des Fusses im ersten Gelenk stark gespannt ist, so hemmt es dann die Bewegung auch im zweiten Fussgelenk. — Die Bewegung im zweiten Fussgelenk hebt den innern oder äussern Fussrand von dem Erdboden auf.

Ueber die Achsen dieses schwierigen Gelenkes haben andere von einander verschiedene Meinungen aufgestellt H. Meyer*), Henle, Henke und Langer, ohne dieselben, wie es scheint, befriedigend aufzuklären. Wir verweisen darum auf die angezogenen Abhandlungen.

Drittes Fussgelenk. Dieses Gelenk, auf welches H. Meyer zuerst die Aufmerksamkeit hingelenkt, geht zwischen calcaneus und os cuboideum. Die Bewegungen werden sich zu der des vorhergehenden addiren und namentlich an der Erhebung des innern Fussrandes sich betheiligen, wenn die Drehung zwischen calcaneus und talus beendigt sind. Dieses Gelenk wird darum von Henke zu dem vorhergehenden gerechnet. Seine lesenswerthen

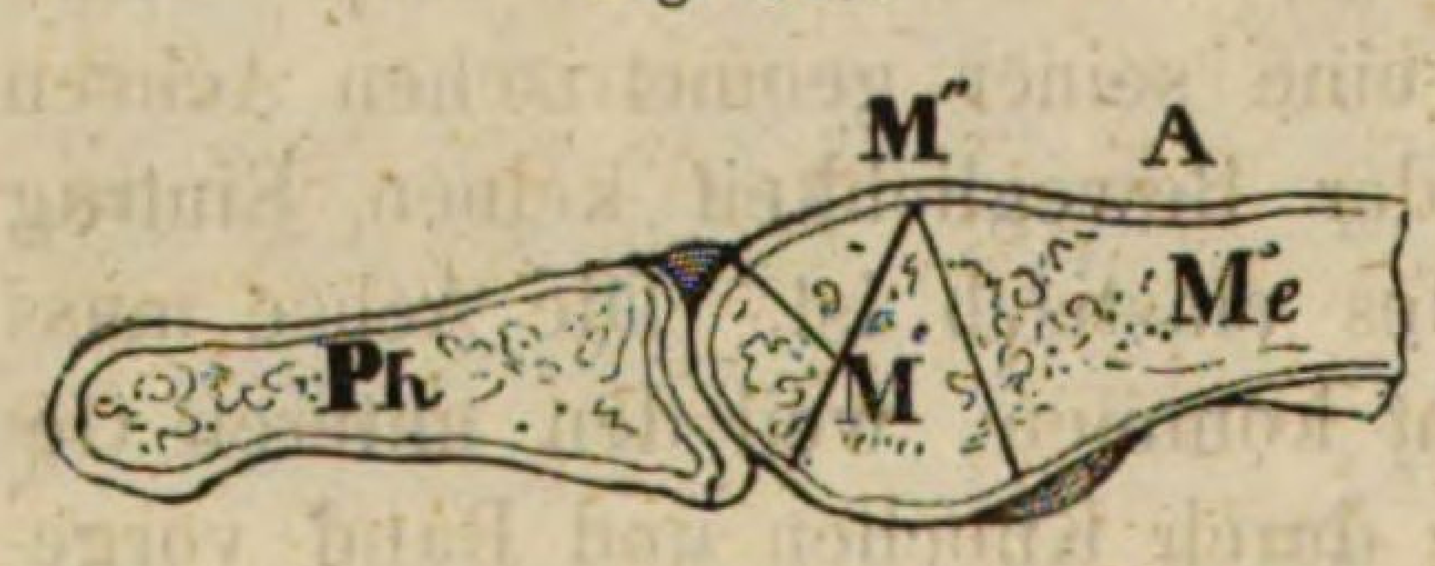
*) H. Meyer, Physiolog. Anatomie. Leipzig 1855. p. 139. — Henle, Bänderlehre. Braunschweig 1856. p. 179. — Henke in Henle's und Pfeufer's Zeitschrift N. F. VII. — Langer, Denkschriften der Kais. Akademie der Wissenschaften 1856.

Betrachtungen siehe in den angezogenen Abhandlungen. — Die übrigen Fusswurzelknochenflächen bedürfen, um verstanden zu werden, einer genaueren Untersuchung, als sie bisher erfahren.

Unter den Fusswurzel-Mittelfussgelenken erlaubt das erste, vierte und fünfte eine wie es scheint schleifende Bewegung.

Metatarsal-Phalangengelenke. Die Biegung der vier letzten Metatarsalköpfe von vorn nach hinten kann, wie H. Meyer angibt, dargestellt werden durch zwei aneinander grenzende Kreisbogen von verschiedenem Halbmesser; der Mittelpunkt des vordern Theiles liegt (Fig. 145) bei M', der des hintern bei M''. Die Krümmung von rechts nach links gehört wahrscheinlich auch einem Kreise an. Die kleine Höhlung der Phalange ist entsprechend der vordern Biegung des Metatarsalkopfs gekrümmt, so dass sie nur hier Biegung und Adduktion ausführen kann; auf dem unteren Stücke kann sie nur in der Beugungsebene geführt werden. —

Fig. 145.



Die Phalangengelenke entsprechen den gleichen an der Hand. Die Sesamgelenke der grossen Zehe sind Rollen, ähnlich der Kniescheibe.

Muskeln des Skelets.

1. Sehnen, Fascien, Sehnenscheiden, Sehnenknochen. Die Muskeln, welche das Skelet bewegen, setzen sich nicht unmittelbar von Knochen zu Knochen, sondern nur durch Vermittelung von Sehnen und Fascien an. Die Sehnen sind im mechanischem Bezuge nichts anderes als zähe und nicht sehr dehnbare Stränge, welche den breiten Querschnitt des Muskels auf einen kleinen zurückführen, wodurch es gelingt, die Angriffsorte sehr breiter Muskelmassen auf Stellen sehr geringer Ausdehnung zu conzentriren. Zugleich übertragen sie die Muskelzüge auf entferntere Punkte, darum sind sie bald länger bald kürzer angelegt und häufig gehen sie über Rollen, wodurch die Richtung des Zuges, welche der Muskel ursprünglich ausübt, wesentlich geändert wird. In diesen Leistungen werden die Sehnen unterstützt durch feste und dichte Scheiden, welche ihnen eine ganzbestimmte Lage und Zugrichtung anweisen; durch Synovialüberzüge, welche durch eine abgesonderte Flüssigkeit und ihre eigene Glätte die Reibung der Sehnen mindern, die sie beim Durchtritt durch die Scheiden, Retinacula u. s. w. oder beim Uebergang

über Knochenvorsprünge erleiden. An einzelnen besondern Punkten sind auch in die Sehnen Knochen eingelagert, wie z. B. an der Sehne des flexor carpi ulnaris das os pisiforme, an den kleinen Daumen- und Grosszehenmuskeln die ossa sesamoidea, an den Unterschenkelstreckern die Kniescheibe. Diese Knochen fixiren theils nach der Art von Rollen die Wirkung der Muskeln nach einer einzigen Richtung, theils verbessern sie den Ansatzwinkel.

Die Fascien oder Sehnenhäute unterscheiden sich bekanntlich nicht durch ihr Baumaterial, sondern durch ihre Form von den Sehnen. Diese breiten Blätter sind als Mittel zu betrachten, durch welche theils die Ansatzpunkte der Muskelsubstanz vervielfältigt werden, wie dieses z. B. der Fall ist an den Fascien, welche die Vorderarm- und Unterschenkelknochen verbinden, oder an den Blättern, welche man ligam. intermuscularia etc. nennt, theils aber auch als Einrichtnngen, durch welche (umgekehrt wie bei den Sehnen) die von schmalen Muskelbündeln ausgehenden Züge auf breiten Flächen vertheilt werden, wie dieses z. B. durch die fascia antibrachia und fascia lata in Beziehung auf die in sie übergehenden mm. biceps, gluteus maximus, tensor fasciae u. s. w. geschieht.

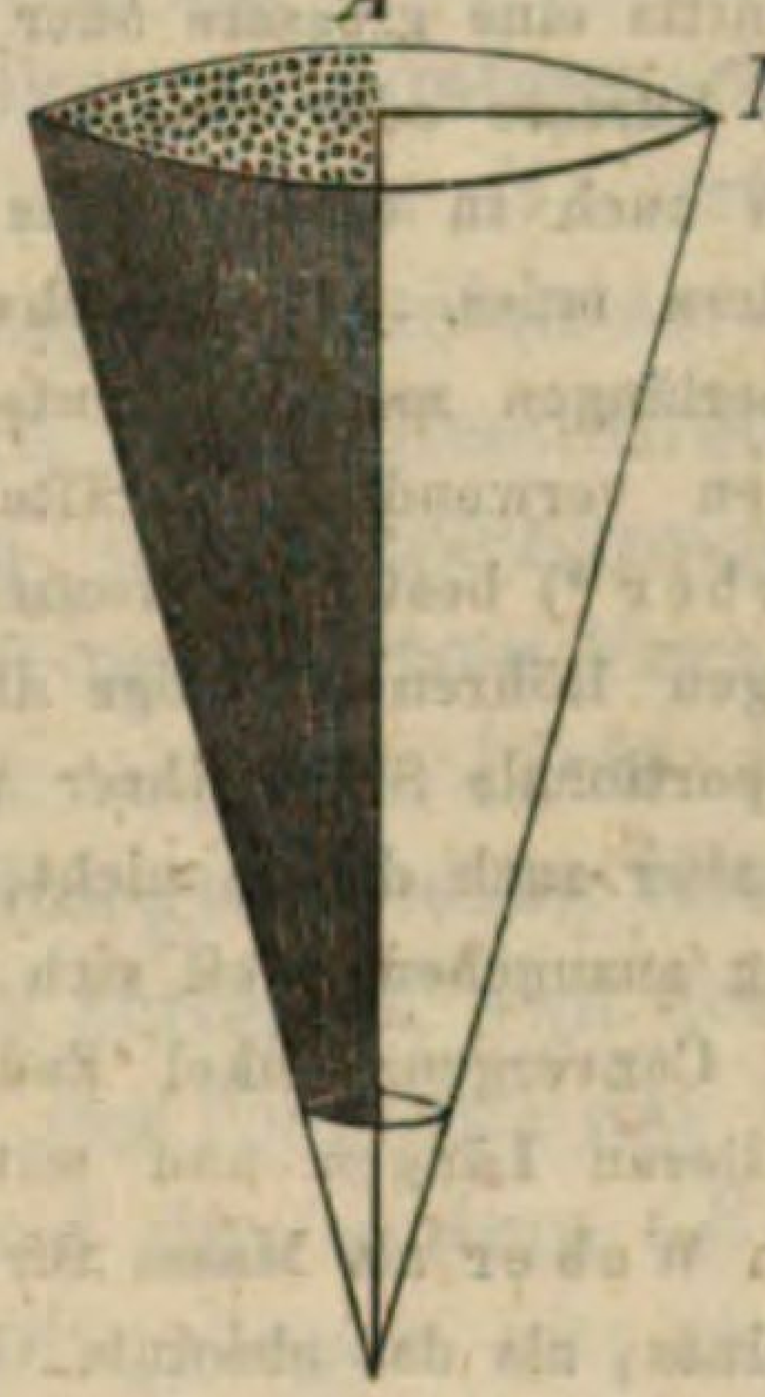
2. Wirkung der Muskeln*). Die grössere oder geringere Zahl von Röhren, welche durch eine gemeinsame Sehne zu einem Muskel zusammengefasst ist, zieht sich vermöge der Einrichtung ihrer Nerven meist gleichzeitig zusammen, und übt dabei einen Zug aus, welcher die beiden Ansatzpunkte einander zu nähern strebt. Dieser Zug, welcher durch die Sehne übertragen wird, geht demnach hervor aus der gleichzeitigen Wirkung aller einzelnen Röhren, die sich zu einer Resultirenden vereinigen; diese Resultirende, welche demgemäss für jeden einzelnen Muskel gesucht werden muss, ist ihrer Kraft und Richtung nach im Allgemeinen abhängig von der Richtung, dem Querschnitt, der Länge, dem Verkürznngsbestreben und der Zahl der im Muskel enthaltenen Röhren. So einleuchtend dieses ist, ebenso unmöglich macht es uns aber der gegenwärtige Stand unserer methodischen Hilfsmittel, wie der Kenntnisse der mit der Verkürzung veränderlichen Muskelkräfte, die Entwickelung der Abgeleiteten mit Zuziehung aller genannten Hilfsmittel zu versuchen. Statt einer allgemeinen muss darum die besondere Herleitung genügen, welche sich darauf beschränkt anzugeben, wie ist die Re-

*) Ad. Fick, Statische Betrachtung der Muskulatur u. s. w. Henle u. Pfeufer IX. Bd. — Derselbe, Medizinische Physik. Braunschweig 1856. p. 63.

sultirende des Muskels beschaffen, wenn er soeben im Begriff steht, aus dem ruhenden Zustand in den verkürzten überzugehen. Denn dann ist die Muskelkraft unabhängig von der Länge (p. 464) der Röhren. Gestattet man sich endlich noch die an und für sich wahrscheinliche Unterstellung, dass auf jeder Flächeneinheit des Querschnitts, der senkrecht auf der Röhrenrichtung des betrachteten Muskels steht, gleichviel gleichbeschaffenen Muskelstoffs vorkomme, oder mit andern Worten, dass überall auf dem Muskelquerschnitt ein gleiches Verkürzungsbestreben besteht, so gelingt es die Resultirende anzugeben, wenn der Flächeninhalt des grössten Querschnitts senkrecht zur Faserrichtung und die letztere selbst gegeben ist. Denn aus dem bekannten Satz über Zusammensetzung der Kräfte ist sogleich ersichtlich, dass die Lage der Resultirenden innerhalb des Muskels bedingt sei durch die Richtung der einzelnen Röhren zu einander. Nun ist es natürlich unmöglich, im Muskel die Richtung aller Fasern zu messen, wohl aber lässt sich jeder Muskel entweder im Ganzen oder in seinen einzelnen Stücken, in die man ihn zerlegt hat, ansehen als ein Gebilde, dessen Fasern gegen einen Punkt endlicher oder unendlicher Entfernung zusammenlaufen. Die Rusultirende eines Muskels von einer solchen Faserrichtung liegt aber immer in der geometrischen Mittellinie desselben, also in der Linie, welche die Mittelpunkte mehrerer Muskelquerschnitte verbindet, die an verschiedenen Orten senkrecht gegen den Röhrenverlauf gerichtet wurden; denn um diese Linie gruppirt sich in der Zugrichtung Alles ebenmässig. Selbstverständlich muss man, wenn die Resultirende aus der Faserung nicht auf einmal im ganzen Muskel, sondern nur in- dessen einzelnen Stücken bestimmt werden kann, die Abgeleiteten dieser letzteren erst wieder zu einer Gesammt-Resultirenden zusammensetzen. — Die Kraft, mit welcher der Zug in der abgeleiteten Richtung erfolgt, ist beim Convergiren in unendlicher Entfernung (paralell dem Faserverlauf) proportional dem Flächengehalt des grössten Muskelquerschnitts; beim Zusammenlaufen auf einen Punkt in endlicher Entfernung aber gleich einer Summe, die gebildet ist aus dem Querschnitt aller einzelnen Muskelröhren, von denen jeder multiplizirt ist mit dem cosin. des Winkels, den ein jeder Muskel mit der Richtung der Resultirenden macht. Den Grund dieses Satzes bringt die Fig. 146 zur Anschauung; in ihr bedeute AR die Richtung des Gesammtzuges, MR sei eine der vielen beliebigen Fasern im Muskel. Wenn wir uns die Kraft (K), welche in der Richtung der Röhre RM

wirkt, in zwei auf einander senkrechte Kräfte zerlegt denken, von denen die eine nach RA, die andere also nach MA wirkt, so wird der erstere dieser Theile den Regeln der Statik entsprechend $= \frac{AR}{MR} K$ sein, oder gleich der Kraft K multiplizirt mit dem Cosinus des Winkels ARM, da $\frac{AR}{MR}$ den Cosinus dieses Winkels darstellt. Nun liegt aber in dem Muskel Faser an Faser, so dass sich wegen der Feinheit jeder einzelnen Faser der Cosinus des Neigungswinkels nur um ein Unmerkliches von dem der benachbarten Faser unterscheidet, mit einem Wort, es finden unmerkliche Uebergänge statt vom Cosinus $= 1$ (welcher der Faser angehört, deren Richtung in die Resultirende fällt) bis zum kleinsten Cosinus der Grenzfaser. Darum kann die verlangte Summe aller einzelnen Faserquerschnitte je mit dem Cosinus ihres Neigungswinkels nur durch Integralrechnung, mit ihr aber ohne Schwierigkeit gefunden werden.

Fig. 146.



Neben dieser allgemeine Methode, welche A. Fick zuerst in Anwendung gebracht hat, gibt es noch andere, welche auf einzelne Fälle anwendbar sind. So liegt z. B. in allen Muskeln, welche nach beiden Seiten hin in schmale Sehnen auslaufen, die Resultirende natürlich in der Verbindungslinie beider Sehnen.

Den grössten Querschnitt des Muskels findet man dadurch auf, dass man aus dem zu untersuchenden Muskel an dem Orte seines grössten Umfangs ein Stück durch zwei senkrecht auf die Faserrichtung fallende parallele Schnitte auslöst, dasselbe wiegt und seine Länge misst. Kennt man das spezifische Gewicht der Muskelsubstanz, so ist der Querschnitt zu finden. Denn das absolute Gewicht des Muskelstückes (A) ist $=$ dem Product aus dem spezifischen Gewicht (S) mit dem Volum (V) des Muskels, d. h. $A = SV$. Das Volum V ist aber $=$ Länge (L) mal Querschnitt (Q), also $A = SLQ$ und somit $Q = \frac{A}{SL}$.

Unüberwindliche Schwierigkeiten bietet es vorerst noch, wenn man die Muskeln rücksichtlich ihres Nutzeffektes, oder auch nur mit Berücksichtigung ihrer Hubhöhe auf ihre mechanischen Leistungen vergleichen will. Mit Beziehung hierauf lässt sich kaum mehr aussagen, als dass der kürzere Muskel die angehängte Last auf eine geringere Höhe bringen wird, als der längere. Die Schwierigkeiten, die einer weiteren Beurtheilung entgegentreten, sind mannigfach; sie liegen zum Theil darin, dass wir das Gesetz nicht kennen, nach welchem mit der proportionalen Verkürzung die Fähigkeit des Muskels, Gewichte zu heben, abnimmt, d. h. in welchem Verhältniss der Trag-

fähigkeit gleich grosse Querschnitte verschieden stark zusammengezogener Muskeln stehen. Da wir aber wenigstens im Allgemeinen wissen, dass die Tragfähigkeit abnimmt, wenn die proportionale Verkürzung im Zunehmen begriffen ist, so schliessen wir daraus, dass ein um einen bestimmten absoluten Werth verkürzter Muskel, der aus Fasern von ungleicher Länge besteht, auf den verschiedenen Orten seines Querschnitts eine grössere oder geringere Kraft besitzt, je nachdem durch den betreffenden Ort kürzere oder längere Fasern hindurchtreten. Hieraus folgt aber sogleich, dass sich auch in diesem Falle die Richtung des Zuges fortlaufend mit der Verkürzung ändern muss. Diese Schwierigkeit wäre nur wegzuräumen, wenn man sämmtliche Faserlängen messen könnte; oder sie darf bei der Betrachtung der im lebenden Menschen verwendeten Kräfte vernachlässigt werden, wenn sich das Gesetz von Ed. Weber *) bestätigt, wonach sich bei den Gliederbewegungen die einzelnen verschieden langen Röhren vermöge ihrer Anheftung an die Gelenkenden immer um das gleiche proportionale Stück ihrer ursprünglichen Länge verkürzten. — Zum weitern gelingt es aber auch darum nicht, die bewegende Kraft des Muskels während seiner Verkürzung anzugeben, weil sich in der letztern bei allen Muskeln mit convergirenden Fasern der Convergenzwinkel ändert. — Aus diesem Grunde gibt eine Bestimmung von mittleren Längen und mitlleren Querschnitten der verschiedenen Muskeln, wie sie Ed. Weber als Maass für den Nutzeffekt gebraucht, kaum noch einen weiteren Aufschluss, als das absolute Gewicht der Muskeln.

3. Zerlegung der resultirenden Kräfte in drehende und die Gelenkenden zusammenpressende. Die von den Muskeln entwickelten Kräfte übertragen sich auf die einzelnen Hebel des Skelets und erzeugen dort entweder Spannungen [durch Druck und Zug] oder Drehungen der Knochen. Die Aufgabe, welcher Antheil der von den Muskeln übertragenen Kräfte zur Drehung und welcher zur Erzeugung von Spannungen verwendet wird, ist zu lösen, wenn man die Lage der Muskelresultirenden zu den Knochen und ihren Drehungsachsen kennt und den Umfang der Bewegung, welche den Knochen in ihren Gelenken zukommt.

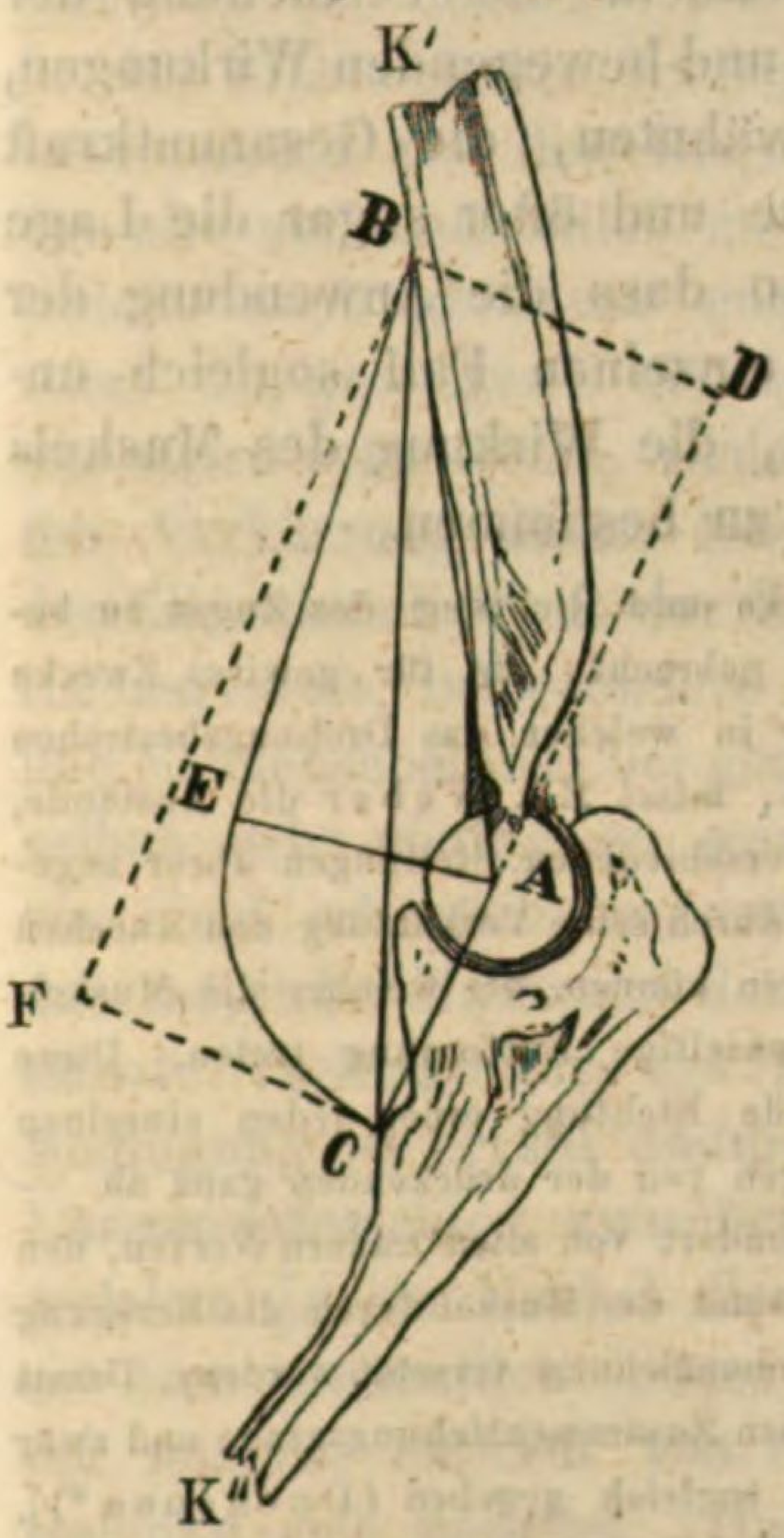
Gesetzt, es seien diese Bedingungen erfüllt **), so dass der Punkt A in Fig. 147 das Ende einer auf die Ebene des Papieres senkrechten Achse bezeichnete, um welche sich die beiden Knochen K' und K'' in der Ebene des Papieres drehen könnten, und BC die Resultirende eines zwischen beiden Knochen ausgespannten Muskels darstellte, so würden die Linien AB und AC die Hebelarme und die Winkel ABC und ACB die Ansatzwinkel sein. Die Bewegung zwischen K' und K'' kann nun entweder geschehen, indem sich beide Knochen gleichzeitig oder der eine bewegliche

*) Ed. Weber, Ueber die Längenverhältnisse der Fleischfasern u. s. w. Leipziger Berichte, mathematisch-physic. Classe 1851. — Derselbe, über die Gewichtsverhältnisse der Muskeln u. s. w. ebendaselbst 1849.

**) Ueber Mittel zu ihrer Erfüllung gibt die erwähnte Abhandlung von Ad. Fick in den IX. Bd. von Henle's und Pfeufer's Zeitschrift Aufschluss.

sich dem andern feststehenden nähert. Da das Resultat in dem ersteren Fall sich zusammensetzt aus den Einzelbewegungen des zweiten, so wird es genügen die Prinzipien zu geben, nach denen der zweite zu beurtheilen ist. Wir nehmen an, es sei K' vollkommen unbeweglich und zudem soll die Linie BC nach irgend einem Längenmaasse in so viel Theile getheilt sein, als die Resultirende Gewichtseinheiten das Gleichgewicht zu halten vermag; nach diesen Voraussetzungen genügt es, die Linie BC mittelst des Parallelogramms der Kräfte in zwei andere zu zerlegen, von denen die eine (DC) in der Richtung des Hebelarmes AC, und die andere (BD) senkrecht auf AC gelegen ist; theilt man diese beiden Linien BD und CD nach demselben Längenmaass, in welchem auch die Länge von BC ausgedrückt war, so wird die Zahl der Maasseinheiten jeder Linie zugleich den Kraftantheil der Resultirenden BC angeben, mit welcher sie nach den bezeichneten Richtungen wirkt, mit andern Worten den Druck, mit welchem sie in der Richtung von DC die Knochen K'' und K' gegeneinander presst und das Drehungsbestreben, welches in der Richtung von $BD = CF$ den Knochen K'' zieht. Da nun aber in dem rechtwinkligen Dreieck $\frac{BD}{BC}$ = dem Sinus des Ansatzwinkels BCD ist, so wird $BD = R$ sin. BCD sein, wenn wir mit R die Kraft der Resultirenden BC und mit BD diejenige des Drehungsbestrebens bezeichnen. — Der eben gefundene Werth von BD gilt aber nur so lange, als die Knochen die bezeichnete Stellung beibehalten; folgt in der That, durch keinen weiteren Widerstand aufgehalten, der Knochen dem bewegenden Zuge, so wird ihn dieser nach der Kreislinie CE führen; nehmen wir nun beispielsweise an, es sei der Knochen so gestellt worden, dass sein Hebelarm von C nach E gekommen, so wird jetzt BE die Lage der Resultirenden und AEB der Ansatzwinkel sein, welcher, wie

Fig. 147.



der Augenschein lehrt, beträchtlich grösser geworden, so dass unter Voraussetzung gleicher Werthe von R das Produkt R sin. BCD kleiner als R sin. AEB wird. — Nun ändert sich aber bei der Zusammenziehung des Muskels nicht allein die Vertheilung der Gesammtkraft zwischen den drückenden und bewegenden Wirkungen, sondern auch, wie wir wiederholt erwähnten, die Gesammtkraft selbst in einer uns unbekannten Weise und öfter sogar die Lage der Resultirenden im Muskel selbst, so dass die Anwendung der eben gegebenen Grundsätze auf den einzelnen Fall sogleich unmöglich wird, so wie man beabsichtigt, die Wirkung des Muskels für mehr als eine Stellung des Gliedes zu bestimmen.

Ausser dieser allgemeinen Methode, die Stärke und Richtung des Zuges zu bebestimmen, hat man noch andere in Anwendung gebracht, die für gewisse Zwecke brauchbar sind. 1. Um die Richtung anzugeben, in welcher das Drehungsbestreben aller oder nur einzelner Fasern eines Muskels liegt, misst Ed. Weber die Abstände, in welchen sich die Muskelansätze befinden, bei verschiedenen Stellungen ihrer zugehörigen Knochen; offenbar wird der Muskel, da er durch seine Verkürzung den Knochen bewegt, nur diejenige Stellung der letzteren erzeugen können, bei welcher die Muskelansätze aus einer grössern in eine geringere gegenseitige Entfernung treten. Diese Bestimmungsweise erlaubt allerdings die bewegende Richtung einer jeden einzelnen Faser eines Muskels zu bestimmen, sie sieht dagegen von der drückenden ganz ab. — 2. Wenn am lebenden Menschen ein Muskelnerv, gesondert von allen andern Nerven, den Schlägen des Induktionsapparates zugänglich ist, so kann der Muskel durch die Erregung dieses Nerven in eine durchweg gleichmässige Zusammenziehung versetzt werden. Damit ist die Zugrichtung des Muskels für alle ihm möglichen Zusammenziehungsgrade und zwar unter dem Bestehen der natürlichen Widerstände sogleich gegeben (Duchenne *)).

Die anatomischen Lehrbücher geben mit Vernachlässigung der Grösse der Zugkraft unter Muskelwirkung nur Angaben über die Richtung der Kraft; aber auch diese sind ganz unvollkommen, wie abgesehen von allem Uebrigen daraus hervorgeht, dass man nicht bei allen im Gelenk möglichen Verstellungen den Zug des Muskels bestimmt, sondern nur bei einigen willkürlich angenommenen. So können z. B. offenbar fast alle Beuger und Strecker der Anatomen auch Rotatoren sein, wenn vor Beginn der Wirkung des Muskels der Knochen um seine Längsachse gedreht war etc.

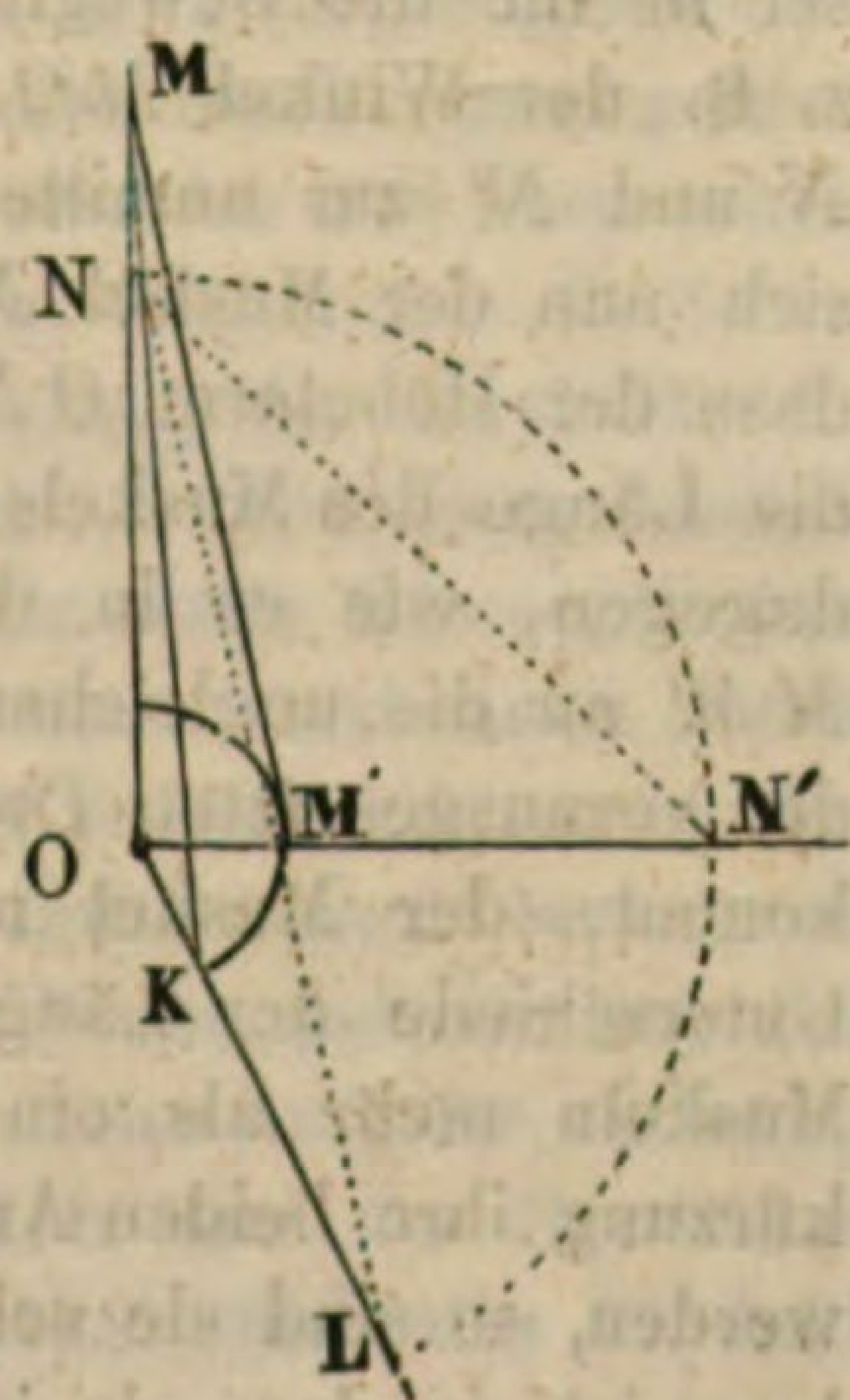
4. Ueber die Hemmung der Bewegung und die Veränderung der Muskelkräfte, welche aus der besonderen Anheftungsweise der Muskeln um die Gelenke hervorgeht.

a) Während der Ruhe finden sich die Muskeln zwischen ihren Ansatzpunkten immer in einem gewissen Grade elastischer Spannung; aus dieser Behauptung erläutert Ed. Weber mit Recht die Thatsache, dass auch die Enden des in der Ruhe durchschnittenen Muskels gegen ihre Ansatzpunkte hin zurückfahren. Vermöge dieser Einrichtung wird nicht allein der Muskel, wenn eine ihn bisher

*) De l'électrisation localisée. Paris 1855.

verkürzende Erregung nachlässt, wieder auf seine ursprüngliche Länge ausgedehnt, sondern es beginnt auch mit der eintretenden Verkürzung sogleich der Muskelzug seine Wirksamkeit auf den Knochen zu äussern. Durch diese beiden Umstände werden die in der Richtung der Muskelröhren wirksamen Zugkräfte am vollkommensten für den Knochen nutzbar gemacht. — Da nun aber um alle und namentlich um die Berührungsgelenke Muskeln sitzen, welche nach geradezu entgegengesetzten Richtungen wirken, so muss die gesteigerte elastische Spannung, in welche die Muskeln der einen Seite treten, wenn sich die der anderen zusammenziehen, der Verkürzung dieser letztern einen Widerstand bieten. Wegen der Eigenthümlichkeit der Elastizitätscoeffizienten der feuchten thierischen Stoffe, insbesondere der hier in Betracht kommenden Muskel- und Sehnensubstanz, bei geringen proportionalen Ausdehnungen derselben sehr niedrig zu sein, wird jedoch dieser Widerstand sich als nicht erheblich herausstellen, vorausgesetzt, dass selbst durch das mögliche Maximum der spannenden Gelenkdrehung die proportionale Verlängerung des Muskels keine beträchtliche ist. Diese Bedingung ist erfüllt dadurch, dass fast durchweg ein bedeutender Längenunterschied zwischen den beiden Hebelarmen besteht, an welchen je ein Muskel diesseits und jenseits eines Gelenkes zieht, so dass namentlich immer das eine Ende des Muskels nahe und ein anderes entfernt von dem zugehörigen Gelenke sich anheftet. Dass hierdurch für die Ausdehnung die bezeichnete Folge eintritt, ergibt die Anschauung ohne besondern Beweis. Setzen wir z. B., Fig. 148, zwei Anheftungsweisen eines und desselben Muskels voraus, vermöge deren das eine Mal der eine seiner Gelenkarme OM beträchtlich an Länge den andern OK resp. OM' übertreffe, während ein anderes Mal beide Hebelarme ON und OL resp. ON' von gleicher Länge sind, und denken wir uns nun den Hebelarm OM' resp. ON' um den für beide gleichen Winkel $M'OK$ resp. $N'OL$ gedreht, so wird der Muskel $M'M$, indem er die Länge MK angenommen, sich nur sehr unbeträchtlich ausgedehnt haben im Vergleich zu der Verlängerung des Muskels NN', als das eine seiner Enden N' in die Lage L überging

Fig. 148.



Hieraus ergibt sich die Regel, dass, alles Andere gleichgesetzt, ein Muskel bei derselben Winkeldrehung einen um so geringeren proportionalen Längenzuwachs erhält, je grösser die Differenz seiner beiden Hebellängen ist. — Bedeutungsvoll für die Verminderung des Widerstandes ausgedehnter Muskeln ist es auch, dass die Sehne, wenn sie lang ist, im Verhältniss zu der rothen Substanz eines Muskels meist einen sehr geringen Querschnitt besitzt, so dass sie trotz der geringen Dehnbarkeit ihrer Substanz dennoch leicht zu verlängern ist.

b) Die Muskelfasern sind aber auch um die Gelenke so angelegt, dass selbst bei dem Maximum ihrer möglichen Verkürzung ihre ursprüngliche Länge um einen nicht all zu grossen Antheil abnimmt (Joh. Müller*)). Die nächste Folge, die sich mit Berücksichtigung bekannter Eigenthümlichkeiten der Muskelkräfte hieraus ergibt, besteht darin, dass dann das am Skelet angeheftete Muskelrohr seinen Hebelarmen noch sehr beträchtliche Zug- und Druckkräfte mittheilen kann. Die besondern Umstände, durch welche diese Anordnung besteht, liegen darin, dass: *α*) wie schon bemerkt ist, immer ein sehr beträchtlicher Unterschied in der Länge der beiden zu je einem Muskel gehörigen Hebelarme besteht; um zu zeigen, wie durch diese Einrichtung selbst bei einem Maximum der Beweglichkeit der proportionale Werth der Verkürzung sehr gering werde, verweisen wir auf Fig. 148. Nehmen wir an, es sei in ihr die Beweglichkeit der Hebelarme unbegrenzt, so dass z. B. der Winkel MOL bis zu Null abnehmen, d. h. die Punkte N und N' zur unmittelbaren Berührung kommen könnten; würde sich nun der Muskel NN' um das Gelenk O so angesetzt haben, dass der Hebelarm ON gleiche Länge mit OL besässe, so hätte die Länge des Muskels auf Null reduzirt werden müssen; setzt sich dagegen, wie es in der That geschieht, der gleichlange Muskel MM' an die ungleichen Hebelarme OK und OM an, so wird bei der vorausgesetzten Drehung, wobei der Punkt M' auf P zu liegen kommt, der Muskel noch die beträchtliche Länge MP = dem Unterschiede der Längen beider Hebelarme besitzen. — *β*) Wenn Muskeln mehr als ein Gelenk überspringen, so dass in der Verkürzung ihre beiden Ansatzpunkte sich einander beträchtlich nähern werden, so sind sie sehr lang genommen, während ihre Sehne sehr kurz ist, so dass sie in der That eine beträchtliche Verkürzung zu

*) Lehrbuch II. Bd. p. 199. Anmerk.

ertragen im Stande sind. — Ed. Weber *), der zuerst die Längenverhältnisse der Muskeln mit Rücksicht auf ihre mögliche Verkürzung in Betracht gezogen hat, gibt an, dass im Mittel am menschlichen Skelet der Längenunterschied der rothen Fasern zwischen möglichster Verkürzung und möglichster Verlängerung sich zu der grössten Länge derselben verhalte = 47 : 100.

Die möglichst grösste und geringste Länge misst Ed. Weber durch den Abstand der Ansatzpunkte des Muskelfleisches am präparirten Muskel, nachdem er das zugehörige Glied in die am meisten erschlaffenden und spannenden Grenzstellungen gebracht, welche im Leben ausführbar sind. Da ein Muskel immer aus Röhren von sehr verschiedener Länge besteht, so bestimmte er jedesmal die längste und kürzeste Faser desselben. — An einem Körper, dessen Muskeln er in der bezeichneten Weise durchmaas, schwankten die Maasse vom kürzesten zum längsten Muskel von 5 bis zu 453 M. M. Die längsten Fasern enthalten die Muskeln, welche sich zugleich über zwei sehr bewegliche Gelenke spannen; und im Mittel sind die Muskeln der Extremitäten länger als die des Rumpfes. Bei einer Vergleichung des Längenunterschiedes der Muskeln in der grössten Ausdehnung und in der grössten Verkürzung ergab sich, dass die Verhältnisszahl weitaus in den meisten Fällen dem angegebenen Mittel sehr nahe kam; jedoch gab es auch Abweichungen, indem die kürzesten Fasern des m. brachialis internus die Verhältnisszahl 100 : 40 und die des m. biceps femoris, semimembranosus und semitendinosus nur 100 : 80 gaben; diese letzten Muskeln stehen jedoch mit ihrer grossen proportionalen Verkürzung sehr vereinzelt da. Ed. Weber behauptet auch nach seinen Messungen, dass wenn sich ein Muskel aus verschieden langen Röhren zusammensetze, dennoch zwischen der Grösse seiner Verkürzung und der grössten Länge das bezeichnete Verhältniss von 100 : 47 bestehe. —

5. Ueber die Verwendung der Muskelkräfte zu vorgeschriebenen Arbeiten **). Gesetzt, es seien uns nun alle die Fragen gelöst, welche in der vorhergehenden Nummer aufgeworfen und besprochen sind, so würde man dazu schreiten können, allgemeine Gesichtspunkte aufzustellen, nach denen die Verwendung der Muskelkräfte zu bestimmten Arbeiten zu beurtheilen wäre. — Von diesen sollen ihrer allgemeinen Wichtigkeit wegen folgende Fälle hervorgehoben werden. — a) Eine gegebene Last, die an einen bestimmten Punkt eines Gliedes gehängt wurde, sucht dasselbe in einem bezeichneten Gelenk zu drehen, welches Zugbestreben muss einem benannten Muskel mitgetheilt werden, damit er dem Drehungsbestreben der Last das Gleichgewicht halte. Die Lösung dieser Aufgabe verlangt, dass man das Moment der Züge des Muskels und des Gewichtes kenne. Unter Moment versteht man aber bekanntlich das Produkt

*) Ed. Weber, Ueber die Längenverhältnisse u. s. w. Leipziger Berichte; physisch-mathem. Classe. 1852. 63.

**) Ad. Fick, Medizinische Physik.

aus der Grösse des Zugs in die senkrechte Entfernung der Drehungsachse von der Zugrichtung. Man sieht also sogleich, dass sich dieser Fall mit Hilfe der gewöhnlichen auf die Hebel angewendeten Prinzipien lösen lasse. Da die so eben vorgeschriebene Arbeit von jedem Muskel unendlich häufig geleistet werden muss, so erscheint es für physiologische Zwecke dringlich nothwendig, die Länge des Hebelarmes zu bestimmen, an welchem ein jeder Muskel angreift. — b) In nächster Verbindung mit der so eben erörterten steht die andere Frage, um wie viel muss sich ein gegebener Muskel zusammenziehen, damit das freie Knochenende eine verlangte Wegstrecke durchlaufe. Man sieht ohne Weiteres, dass das Verhältniss zwischen der Verkürzung des Muskels und dem Weg des freien Knochenendes bedingt ist durch den senkrechten Abstand des Muskelansatzpunktes und des Knochenendes von der Drehungsachse des Gelenkes. — c) Wenn eine gegebene Anzahl einem Gelenke zugehöriger Muskeln, deren Drehungsachsen und Momente bestimmt sind, gleichzeitig zur Zusammenziehung streben, nach welcher Richtung hin wird dann das Glied getrieben und wie gross wird das Moment des resultirenden Zuges sein. Die Ausrechnung dieser Aufgabe bietet keine Schwierigkeit, da man einfach die Momente nach den drei auf einander senkrechten Dimensionen des Raumes hinzuschreiben, die einer jeden Dimension mit Berücksichtigung ihres Vorzeichens zu addiren hat und aus den übrig bleibenden Partial-Momenten die Resultirenden gemäss der bekannten Regel über Zusammensetzung der Kräfte abzuleiten hat. — d) Ein bestimmtes Glied ist aus einer gegebenen Anfangsstellung in eine andere gegebene übergeführt worden; es soll aus den bekannten Zugwirkungen aller an dem Glied befindlichen Muskeln ausgerechnet werden, welche Muskeln und mit welcher Kraft jeder von ihnen sich an der Bewegung betheiligt habe. Diese Aufgabe lässt in fast allen Fällen mehr wie eine, meist sogar sehr zahlreiche Auflösungen zu und zwar aus denselben Gründen, welche schon bei der Bewegung des Augapfels entwickelt sind, auf die wir darum verweisen.

Bei allen Fragen, die hier erörtert sind, ist natürlich nur dann ein der Wahrheit entsprechendes Resultat zu erhalten, wenn man neben den contraktilen auch noch die elastischen Züge der Bänder, Muskeln und Haut, welche die Gelenkenden umgeben, in Rechnung bringt. —

6. Ueber die Zusammenfassung der Muskelprimitivtheile zu Muskeln. — Eine Frage von eigenthümlichem Interesse ist weiterhin

die, ob bestimmte mechanische Prinzipien bei der Zusammenordnung der Muskelröhren zu Muskeln befolgt seien. Auf den ersten Blick scheint es, als ob ohne bestimmte Regeln verfahren sei, indem bald Muskelröhren von sehr verschiedener Richtung, wie an den mm. deltoideus, cucullaris, glutaeus medius u. s. w., in eine Sehne zusammenlaufen, während ein anderes Mal Muskelröhren gleicher Richtung, wie z. B. in den mm. biceps brachii, brachialis internus, supinator longus, in den verschiedenen Sehnen am Vorderarm ausmünden. So weit sich aber schon jetzt ersehen lässt, sind dennoch folgende Regeln festzustellen: *a*) Wenn gleich gerichtete Muskelröhren in zwei oder mehr Muskeln gespalten sind, welche ein und dasselbe Gelenk nach derselben Richtung ziehen, so ist der eine derselben an einen Kraft- uud der andere an einen Geschwindigkeitshebel befestigt. Da aber nach dem Vorhergehenden eine Ungleichheit in der Länge der beiden Hebelarme stattfinden muss, so wird zwischen den beiden Muskeln mit gleichgerichteten Faserzügen eine solche Verschränkung der Ansätze stattfinden müssen, dass einer der Muskeln am oberen Ende des Knochens *A* entspringt und an das obere Ende des Knochens *B* sich befestigt, während der zweite am unteren Ende des Knochens *A* seinen Ursprung und am untern Theil des Knochens *B* sein Ende findet. Dieses Gesetz der Verschränkung der nach gleicher Richtung ziehenden Muskeln findet eine sehr verbreitete Anwendung, so dass es nicht nothwendig erscheint, Beispiele derselben vorzuführen. — *b)* Wenn gleichgerichtete Mnskelröhren in zwei oder mehr Muskeln gespalten sind, die in gleicher Richtung auf desselbe Gelenk wirken, ohne dass einer derselben an einen Last- und der andere an einen Geschwindigkeitshebel sich ansetzt, so ist dem einen von beiden noch eine Nebenwirkung auf ein anderes Gelenk zugetheilt; in diesem Fall springt mit andern Worten der eine der Muskeln nur über ein und der andere über zwei Gelenke fort, oder beiden ist für dasselbe Gelenk neben einer gemeinsamen Wirkung auch noch jedesmal eine besondere anvertraut. Beispiele hierfür liefern die mm. biceps brachii und brachialis internus, von denen der erste Beuger und Supinator des Vorderarms, der letzte nur Beuger ist; ferner der m. triceps brachii, dessen langer Kopf neben der mit den kürzern gemeinsamen Vorderarmstreckung auch noch den Oberarm im Schultergelenk bewegt; ferner die mm. biceps femoris (caput long.), semitendinosus und semimembranosus, welche sämmtlich den Oberschenkel strecken und den Unterschenkel beugen, während

diesen der erstere Muskel zugleich nach auswärts und die letzteren ihn nach einwärts rollen u. s. w. u. s. w. — Diese beiden so eben vorgeführten Grundsätze lassen die beiderseitige oder nur einseitige Isolation gleichgerichteter Muskelröhren vollkommen sinnvoll erscheinen. Unmöglich ist es dagegen aus ähnlichen allgemeinen Regeln das häufige Vorkommen zu rechtfertigen, wonach ganz verschieden laufende, in ihrer Wirkung fast durchweg antagonistische Fasern in eine Sehne zusammengefasst sind, wie z. B. am m. glutaeus medius.

7. Vertheilung der Muskeln um die Gelenkachsen; Gegner und Helfer. Ein- und zweigelenkige Muskeln. Um alle Gelenke sind die Muskeln so angelegt, dass für jede der Bewegungsrichtungen, welche dem Gelenk vermöge seiner Flächen und Bandapparate zukommt, auch Muskeln angelegt sind; daraus folgt, dass auch an den entgegengesetzten Enden derselben Gelenkmasse Muskeln ziehen, welche das Hin und Her der Bewegung in ein und derselben Ebene bedingen, so dass also, wenn wie am Hüft- und Schultergelenk, Bewegungen nach allen Richtungen möglich sind, ein vollkommener Muskeltrichter vorhanden ist, dessen Faserung annäherd parallel mit der Längenachse des Knochens geht, welche dann noch von Muskelbändern gekreuzt wird, deren Länge senkrecht gegen die des Knochens geht. Aus einer solchen Anordnung entspringt die Folge, dass dieselben zwei Muskel in dem einen Fall Gegner und im andern Fall Helfer sind. So werden z. B. die vordern mm. adductores femoris [pectineus, gracilis, adductor longus und brevis], weil sie den Oberschenkel beugen, dem m. glutaeus maximus entgegenwirken, sie werden dagegen in Verbindung mit dem letztern Muskel den Oberschenkel adduziren u. s. w. — Zu antagonistischen Wirkungen führen aber nicht allein die Muskelzüge unter sich, sondern es vermögen begreiflich diesen letzten auch Knochenvorsprünge, Bänder, schwere Massen und dergleichen entgegen zu wirken. So tritt z. B. der streckenden und adduzirenden Wirkung der mm. glutaeus maximus und adductor magnus der gemeinsame Bandapparat, welcher aus dem ligament. superius, teres (?) und dem Stücke der fascia lata besteht, das sich von der spina ossis ilei anterior superior über den trochanter major zum Unterschenkel erstreckt, entgegen; dem Zuge des vierköpfigen Unterschenkelstrecker setzen sich die ligamenta genu lateralia entgegen u. s. w. — In gleichem Sinne ist der Antagonist der kräftigen Kopf- und Rückgratstrecker die Schwere der nach vorn liegenden Kopf-, Brust- und

Bauchknochen und Eingeweide u. s. w. Hieraus folgert sich aber nun weiter noch die Asymmetrie der Muskelmasse um die Gelenke, so dass z. B. den kräftigen Adduktoren und Streckern des Oberschenkels, den Streckern des Unterschenkels, den Hebern des Schulterblattes u. s. w. keine entsprechend starke Beuger u. s. w. gegenüber stehen.

Bei einer Vergleichung derjenigen Muskeln, welche nur ein Gelenk bewegen, mit denen die zugleich auf zwei wirken, ergibt sich für die grossen Gelenke als Regel, dass jedesmal die erstere Gruppe vollkommen vorhanden ist, so dass ein jedes dieser Gelenke nach allen Richtungen hin unabhängig von den ihm benachbarten bewegt werden kann. Die Regel, welche dagegen die Anordnung von zwei- und mehrgelenkigen beherrscht, ist vorerst noch unbekannt.

8. Besondere Muskelgruppen. Eine Besprechung der Leistungen aller einzelnen an das menschliche Skelet gehefteten Muskeln wird man nach dem Vorhergehenden nicht mehr erwarten. Wir beschränken uns demgemäss auf einige Andeutungen über die Anordnung der Muskeln in den grossen Abtheilungen des Skelets.

a) Kiefermuskeln. Die Oeffner des Kiefers sind dünne und möglichst lange Muskeln, ihr Ansatz geschieht in möglichster Entfernung vom Drehpunkte des Gelenkes. Einer von ihnen (digastricus) öffnet den Kiefer allein, ein anderer (latissimus colli) Kiefer und Lippen gleichzeitig.

Im direkten Gegensatz zu ihnen stehen die Kieferschliesser. Ihr Querschnitt ist möglichst gross; darum ist für die oberen Ursprungspunkte noch der proc. zygomaticus über die Schläfenfläche gespannt und die fossa pterygoidea interna gebildet und für die untern Ansatzpunkte der Kieferast emporgeschoben; die Schliessmuskeln sind ferner möglichst kurz und setzen sich darum an einen kurzen Hebelarm, aber unter einem für die Druckwirkung auf die Zähne sehr günstigen Winkel an.

Die Vorwärtszieher endlich sind zum Theil Schliessmuskeln (pterygoideus internus und masseter), zum Theil stellen sie eine eigne kräftige Masse den m. pterygoideus externus dar, welche durch seinen Ansatz an den Kopf und den meniscus beide gleichzeitig nach vorn auf das tuberculum zieht (H. Meyer).

Rückwärtszieher beim Eröffnen des Kiefers sind mm. geniohyoideus und digastricus, und beim Schliessen m. temporalis.

b) Kopfmuskeln. Bei der Stellung des Kopfes über dem Rumpf war es, unter Voraussetzung einer allseitigen Beweglichkeit,

nothwendig, dass er auf ein schmales Statif, den Hals aufgestellt wurde. Die Länge dieses letzteren wird ungefähr bestimmt durch die Grösse des Neigungswinkels, welchen die kleinen Kopfgelenke zulassen, den Umfang, welcher der Oeffnungsbewegung des Kiefers zukommt und den Abstand der Kiefer und Hinterhauptspitze von der queren Gelenkachse des ersten Kopfgelenks. — Ed. Weber weist darauf hin, dass die Leichtigkeit der Kopfbewegung sehr begünstigt werde durch die Aufstellung der schweren Masse auf Condylen von geringer Ausdehnung. — Der Kopf ist beweglich entweder für sich oder zugleich mit der Wirbelsäule, so dass er auch Stellungsveränderungen in seinen Verbindungsgelenken mit der Wirbelsäule gleichzeitig mit denen der Halswirbel unter sich erfahren kann. — Die reine Kopfbewegung zwischen Atlas und Hinterhaupt bewirken nach vorn und hinten mm. recti capitis antici und postici; die nach den Seiten mm. rectus capitis lateralis und obliquus superior; beide Muskelmassen sind klein und wirken an kurzen Hebelarmen. Die Drehung in der Horizontalebene besorgen mm. obliquus inferior und rectus posticus major.

Die Combination der Hals- und Kopfbewegung wird ausgeführt 1. durch ein System von schief laufenden, sich kreuzenden Fasern. Zu diesen gehören in der einen Richtung m. sternocleidomastoideus, die obere Partie des m. cucullaris, mm. complexus und biventer, welche von den vordern und seitlichen Theilen des Rumpfes, resp. der Wirbelsäule nach hinten und innen zum Kopf laufen; in entgegengesetzter Richtung durch m. splenius, welcher von der hintern Mittellinie des Halses kreuzend mit den vorigen gegen den Seitentheil des Kopfes dringt. — 2. Durch drei gerade Muskeln, von denen der eine (rect. capitis long. anticus) beugt, ein anderer den Kopf gegen die Schulter neigt (trachelomastoideus) und ein dritter (das innere Stück des biventer) streckt.

Die Ansatzpunkte der Muskel an dem Kopf liegen demnach vorzugsweise am Ende zweier unter einem rechten Winkel sich kreuzender Hebelarme, die den beiden früher erwähnten Achsen des Hinterhauptgelenkes parallel gehen; ihre Endpunkte werden dargestellt durch den processus mastoideus einerseits und durch die protuberantia occipitalis und pars basilaris anderseits. Insofern sie auf das Kopfgelenk allein wirken, sind demnach mm. splenii und sternocleidomastoidei Rotatoren und Seitwärtsbeuger, mm. cucullaris, complexus und biventer Rotatoren und Strecker; der Mangel der entsprechend kräftigen Beuger erläutert sich daraus, dass der

Schwerpunkt des Kopfes nach vorn von dem Unterstützungspunkte gelegen ist. —

c) Muskeln der Wirbelsäule. Sie sind, wie Ed. Weber zuerst bemerkte, nach demselben Plan angelegt, der bei der Construktion der Hals- und Kopfmuskeln angewendet ist. Zunächst ist durch die rückwärts beugenden mm. interspinosi, die seitwärts beugenden mm. intertransversarii und die drehenden mm. multifides ein Apparat gegeben, vermittelst dessen, unabhängig von allen andern, ein einziger Intervertebralknorpel geknickt werden kann. Dann kann durch ein System gekreuzter und durch zwei Systeme gerade verlaufender Fasern immer eine grössere Abtheilung der Wirbelsäule gleichzeitig bewegt werden. Zu diesen letzteren Wirbelsäulemuskeln und zwar zu den am Rumpf gekreuzten Spiralen zählen die mm. semispinales, obliqui abdominis, quadratus lumborum, intercostales, sternocostales; man sieht einen Theil derselben (mm. obliquus externus, quadratus lumborum, intercostales externi) laufen im Sinne des m. sternocleidomastoideus, einen andern (m. obliquus intern., intercostales intern.) in der Richtung des m. splenius. Die Richtung der obern Lage der einen Seite ist die Fortsetzung der tiefern der andern Körperhälfte. Die äussersten Punkte dieser Muskelflächen wirken, indem sie sich an das Becken und die Rippen ansetzen, an langen Hebelarmen. In ihrer Wirkung auf die Wirbelsäule unterstützen sich jedesmal je zwei Lagen, die je nach der Art der Wirkung bald die gleichseitigen und bald die ungleichseitigen sind. Diese Muskeln leisten aber auch einen Beitrag für die Athmung und Darmentleerung; sie werden in dieser Beziehung an den betreffenden Orten noch erwähnt werden. — Die geraden Muskelzüge werden hinten aus dem m. sacrolumbaris mit seinen Ausläufern den mm. sacrocostalis, colli ascendens, longissimus dorsi, colli transversalis, sacrospinalis, vorn durch die mm. rectus abdominis und longissimus colli dargestellt. Aus demselben Grunde wie am Kopf ist die Muskelmasse an der hintern Seite stärker als an der vordern; zudem wirkt der m. rectus abdominis auch noch an einem längern Hebelarm, als der sacrolumbaris. — Gute Schemata der Rumpfmuskulatur gibt das Lehrbuch von H. Meyer. —

d) Muskeln des Brustgliedes. Die Stellung des Armes auf den Seitenflächen des höchsten Theiles der Brust, die ihm durch die clavicula gesichert ist, gibt seiner Bewegung den freiesten Spielraum und überträgt zugleich den Endeffekt der Bewegung der

untern Gliedmaassen und die des grössten Theils der Wirbelsäule auf ihn. Die doppelte Gegenwart des Armes vermehrt die Vielfachheit der gleichzeitigen Bewegungsrichtung und den Umfang des von dem Brustglied umspannbaren Raumes; ihre symmetrische Stellung zur Wirbelsäule bedingt eine der Ortsbewegung dienliche Vertheilung der Körperlast und führt zugleich zur Bildung der sogenannten Schultern, d. h. zu Flächen, die, weil sie senkrecht gegen die Längsrichtung der Wirbelsäule stehen, besonders geeignet sind, die von der letztern ausgeübten Stosskräfte auf fremde Körper zu übertragen.

Der Arm selbst, ein mehrfach gebrochener Stab, kann je nachdem er sich streckt oder beugt, oder je nachdem sein freies Ende unter oder neben seinen Aufhängepunkt fällt, Last- oder Geschwindigkeitshebel werden, unter der Voraussetzung, dass die Last an der Hand und die Kraft am Schultergelenke wirkt. Die Hand endlich, eine Platte, welche in einzelnen Stäben endigt, stellt eine nach allen Richtungen verbiegbare Fläche dar, die namentlich mittelst der Finger zum Haken, Stift, Ring u. s. w. sich umgestalten kann. Die ausserordentliche Beweglichkeit des ganzen Gliedes ist neben einer verhältnissmässig grossen Festigkeit dadurch erzielt, dass eine vielfache Zahl von Stücken auf einander eingelenkt sind, von denen jedes folgende auf dem vorhergehenden nur wenig beweglich und namentlich um so weniger beweglich ist, je kleiner die Berührungsflächen beider Stücke sind. Es multipliziren sich demgemäss die einzelnen Bewegungen; so kann z. B. das Oberarmbein durch seine Einlenkung auf dem beweglichen Schulterblatt alle Bewegungen, die es im Schultergelenk zu erfahren im Stande ist, an allen Stellungen bewerkstelligen, die das Schulterblatt selbst einzunehmen vermag; ein Gleiches gilt von dem Vorderarm gegenüber dem Oberarm u. s. w. Aus diesem Grund war es auch, ohne der Beweglichkeit Eintrag zu thun, erlaubt, die jenseits des Oberarmkopfes liegenden Gelenke nur nach einer oder nach zwei Richtungen hin zusammenknickbar zu machen, nach der andern dagegen so zu steifen, dass z. B. die Handfläche mit den Fingern ein steifes Bret, Oberarm und Vorderarm eine feste Stange in der Streckung darstellen.

Ueber die Muskelordnung an der obern Extremität lässt sich folgendes Allgemeine mittheilen. 1. Das Muskelfleisch, welches auf der Streckseite der Gelenke liegt, die nur bis zur graden Linie gestreckt werden können, verschmilzt zu einer Sehne, die entweder nur ein Gelenk übergreift (humerus-ulna) oder sogleich über mehrere

geht (Phalangen). — 2. Jedes Gelenk, mit Ausnahme der sehr nahe zusammengelegenen Carpal- und der beiden letzten Phalangengelenke, ist durch Muskelfleisch beweglich, welches sich nur über dasselbe ausspannt; zugleich aber ist es mit Muskeln überzogen, welche bei ihrer Zusammenziehung jedesmal gleichzeitig das nächstvorhergehende oder folgende in Bewegung setzen. Demgemäss ist mit Beziehung auf die Ansatzpunkte die Muskulatur der obern Extremität zu zerfällen: In Muskeln vom Rumpf zum Schultergürtel und vom Rumpf zum Oberarm; in Muskeln vom Schultergürtel zum Oberarm und vom Schultergürtel zum Unterarm; in Muskeln vom Oberarm zum Radius und vom Oberarm zur Ulna und vom Oberarm zur Hand; in Muskeln von der Ulna zum Radius und von beiden Knochen zur Hand und endlich von der Hand zu den Fingern und von dem Unterarm zu den Fingern. Von diesen beiden Muskelgruppen ist in vollkommener Ausbildung nur die kurze, eingelenkige vorhanden, indem sie jedesmal Muskelfasern nach so viel Richtungen enthält, als das Gelenk Bewegungen zulässt. Diese vollständige Anwesenheit der eingelenkigen Muskeln bedingt öfter noch eine besondere Bildung der um das Gelenk liegenden Knochensubstanz; so musste z. B., um für die Bewegung nach drei rechtwinkelig einander schneidenden Achsen Muskeln zu gewinnen, das Schulterblatt als eine Platte auftreten, auf der eine zweite unter einem Winkel aufgesetzt ist (Acromion). Ihre vollkommene Ausbildung bringt das schon bei der Knochenzusammensetzung der oberen Gliedmaassen erwähnte Prinzip zur Vollendung dadurch, dass nämlich die Beweglichkeit des Stützpunktes die Beweglichkeit des aufsitzenden Knochens multiplizire, denn da die Ansatzpunkte der Muskulatur eines auf einem beweglichen Stücke sitzenden Gelenkes mit der Bewegung desselben selbst ihre Lage verändern, so wird die Bewegung des Gelenkes vollkommen unabhängig von irgend welcher besondern Stellung des beweglichen Grundstückes. — Diese eingelenkige Muskelgruppe ist aber nicht allein vollkommen vorhanden, sondern oft sind einzelne Glieder derselben doppelt gegenwärtig; so z. B. stellt der mittlere Theil des m. deltoideus dieselbe Richtung dar, welche dem m. supraspinatus zukommt; diese Muskeln unterscheiden sich aber in Bezug auf die Hebellänge, an der sie bei feststehendem Schulterblatt am Oberarm wirken. — Die über zwei Gelenke hinausgehende Gruppe ist im Gegensatz zu der eben behandelten meist nur in wenigen Richtungen dargestellt. So gibt es, um ein Beispiel zu erwähnen, unter den Schulterblatt-Vorder-

Armmuskeln nur Heber (biceps) und Rückwärtszieher (langer Kopf des triceps) des Oberarms, dagegen sind die Rumpf-Armmuskeln Abwärtszieher und Rotatoren, so dass erst die zwei Abtheilungen der zweigelenkigen Muskeln für das Oberarmgelenk alle Bewegungen geben. Der Grundsatz, aus dem die Anordnung dieser Muskeln fliesst, liegt noch im Dunkeln. Besondere Vortheile, welche die Anwesenheit zweigelenkiger Muskeln gewährt, liegen jedoch auf der Hand. Denn einmal sind darum allmälige Uebergänge zweier Bewegungen in einander möglich (Ed. Weber) und zugleich wirken die Muskeln in Bezug auf das erste Gelenk, das sie überspringen, an Krafthebeln, indem sie sich möglichst entfernt vom Drehpunkt desselben ansetzen, und auf das zweite Gelenk an Geschwindigkeitshebeln, indem sie sich möglichst nahe an den Drehpunkt desselben anheften.

e) Bauchglied. Das ganze Glied zeigt in verschiedenen Stellungen eine sehr verschiedene Beweglichkeit. In der Streckung des Ober- und Unterschenkels und der mittleren Beugung des Fusses, wie sie bei dem Stehen auf horizontalem Boden vorkommt, ist es am unbeweglichsten; denn es verhindern in diesem Fall im Hüftgelenk das lig. superius eine weitere Streckung, das lig. teres (?) und der durch den m. glutaeus maximus gespannte äussere Streifen der fascia lata Adduction. Das Kniegelenk wird steifer, weil die ligamenta lateralia in Spannung kommen und zugleich die mit einem grossen Krümmungshalbmesser begabten vordern Abschnitte der Kniegelenksfortsätze am Oberschenkel auf der ebenen Pfanne der tibia in ausgedehnterer Weise aufruhen. Im ersten Fussgelenk klemmt sich aber der astragalus ein.

Mit dieser Einrichtung und zugleich mit dem Tragen und Fortschieben der Rumpflast steht im Zusammenhang die Eigenthümlichkeit der Muskelvertheilung am Bauchglied, dass die Strecker der Hüfte, des Knies und des Fusses und ebenso die auf der Plantarseite des Fusses befindlichen Muskeln das Uebergewicht über die entgegengesetzt liegenden behaupten, und dass nur die Beuger des Kniegelenks zugleich Rotatoren desselben sind. Ueber Fussmuskeln siehe Duchenne *).

Die Einrichtung der ein- und zweigelenkigen Muskeln kehrt wie am Arm wieder und in dieser Einrichtung ist abermals die Bestimmung, dass die eingelenkigen alle einem Gelenke möglichen

*) Archives générales. Juni 1856.

Bewegungsrichtungen enthalten. Am Hüftgelenk überwiegt der Querschnitt der eingelenkigen den der zweigelenkigen weit aus, am Knie umgekehrt der Querschnitt der zweigelenkigen den der eingelenkigen.

Aufrechtes Stehen; Gehen.

Obwohl es streng genommen ausserhalb der Grenzen eines Lehrbuchs der reinen Physiologie fällt, auch noch die complizirten Bewegungen des Skelets und seiner Muskeln zu besprechen, so werden wir doch noch ganz übersichtlich die in der Ueberschrift bezeichneten, mühsam erworbenen Kunstfertigkeiten behandeln, und zwar darum, weil dabei einige wesentlichen Eigenschaften der Bauchglieder besonders hervortreten. Das Sitzen, Laufen, Schwimmen, Reiten, Tanzen u. s. w. schliessen wir dagegen vollkommen aus.

A) Aufrechtes Stehen. Die allgemeinsten Bedingungen desselben sind erfüllt, wenn der Schwerpunkt unseres Körpers in den Raum fällt, welchen die auf dem Boden aufstehenden Füsse umschliessen, und die zwischen dem Rumpf und dem Boden liegenden Hüft-, Knie- und Fussgelenke hinreichend gesteift sind, um ein Abgleiten der Gelenkflächen von einander zu verhüten. Diese letztere Bedingung kann in Erfüllung gebracht werden entweder allein durch die Wirkung der Muskeln, oder vorzugsweise durch eine Gegenwirkung zwischen Bandmassen der Glieder und der Schwere des Rumpfes; je nachdem das eine oder das andere dieser Hülfsmittel in Anwendung gebracht ist, kann das Stehen kürzere oder längere Zeit ertragen werden, mit andern Worten erscheint uns dasselbe ermüdend oder bequem. Da das erstere auf eine ganz willkürliche und mannigfach veränderliche Weise hervorgebracht werden kann, so verzichten wir auf seine Darstellung und fassen nur das bequeme Stehen in das Auge. Die Mittheilungen, die hier darüber gegeben sind, folgen den Untersuchungen von H. Meyer *).

1. Lage der Schwerpunkte des Rumpfes und des Gesammtkörpers. Schwerlinie. Von einer constanten Lage des Schwerpunktes am Rumpf kann natürlich keine Rede sein, da das Gewicht seiner einzelnen Abtheilungen, wie namentlich das der Unterleibs-Eingeweide einem fortlaufenden Schwanken unterworfen ist, da ferner seine einzelnen Theile sich gegeneinander bewegen können, und insbesondere die an seinen Enden angebrachten Fortsätze, die Arme und der Hals, sehr verschiedene Stellungen einzunehmen vermögen. Die allgemeine Angabe über die Lage des Schwerpunktes

*) Müller's Archiv. 1853. 9.

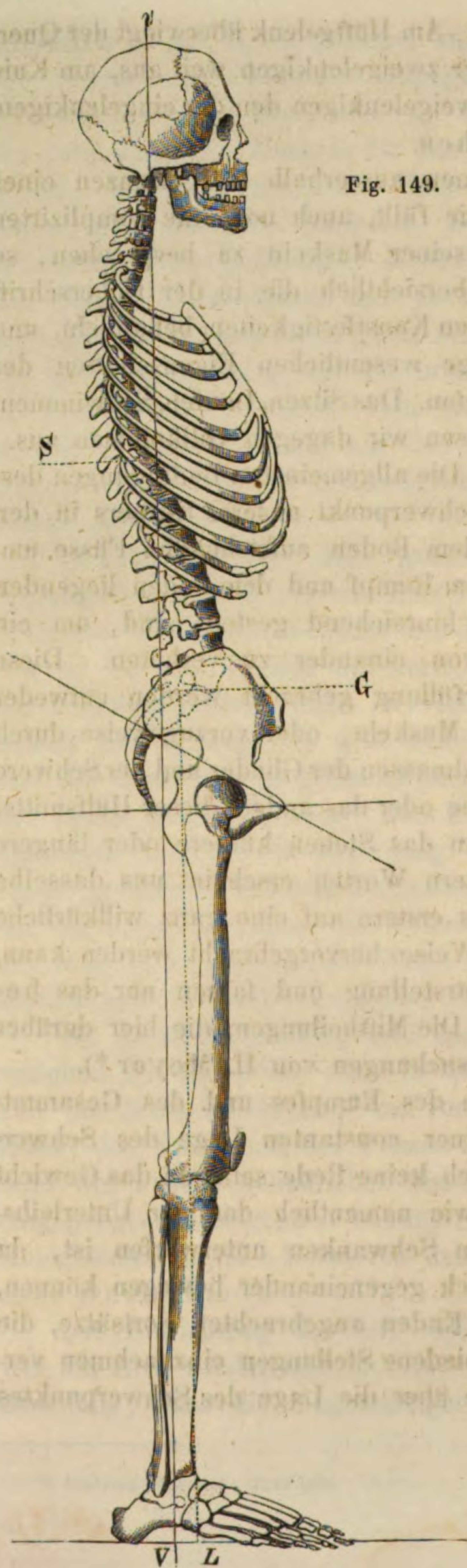


Fig. 149.

müsste sich also auf die Grenzen beziehen, innerhalb deren sie wechseln kann. Diese sind uns aber nicht bekannt; wir wissen aus einem von Ed. Weber untersuchten Fall, dass der Schwerpunkt des Rumpfes (Kopf und Arme eingeschlossen), vorausgesetzt, dass die Arme am Leib herabhängen und die Wirbelsäule gestreckt ist, in der Horizontal-Ebene, in welcher auch der Schwertfortsatz liegt, zu suchen sei; auf diese Ebene weisst ihm Horner, durch theoretische Betrachtungen geführt, seinen Platz unmittelbar vor der Mitte des 10. Rückenwirbels an. Die Lage des gemeinsamen Schwerpunktes (des Rumpfes und der Beine), begreiflich eine andere als die des Rumpfschwerpunktes, fällt nach einer Beobachtung von Ed. Weber in das Promontorium; Meyer verlegt ihn etwas tiefer in den Kanal des zweiten Sacralwirbels. Wir setzen die Lagen der Schwerpunkte als richtig voraus und können somit die Schwerlinien des Rumpfes sowohl wie des Gesammtkörpers ziehen, welche durch die Richtung der Schwerkraft gegeben sind. In Fig. 149 sei S der Schwerpunkt des Rumpfes, so wird die Linie VV, welche absolut senkrecht und durch den Schwerpunkt des Rumpfes geht, die zugehörige Schwerlinie sein. Ihre Lage

vornemlich zum Kopf, Wirbelsäule und dem Hüftgelenk gestaltet sich folgendermaassen: Sie steigt hinter dem Schwerpunkt des Kopfs herab, schneidet das tuberculum anterior des Atlas, kreuzt sich mit dem 9. und 10. Brust- und dem zweiten Kreuzbeinwirbel und fällt endlich hinter dem Drehpunkt des Hüftgelenks herunter. Die Wirbelsäule fällt also in Gestalt einer elastischen Säule bald hinter und bald vor die Schwerlinie, und in der That wirkt sie beim Tragen der Körperschwere auch ganz wie ein solche.

Die Linie *G L* aus dem gemeinsamen Schwerpunkte *G* fällt hinter den Drehpunkt des Hüftgelenkes, zwischen die mittleren Theile der beiden Kniegelenke in den Raum, der von den beiden Füssen umspannt wird. In einer Profilprojektion, wie sie unsere Finger gibt, trifft die Schwerlinie ungefähr in der Mitte zwischen dem Fersenhöcker und dem Köpfchen des ersten Mittelfussknochen, also vor dem Sprunggelenk in den Boden ein.

2. Steifung der Gelenke. a) Die Steifung des Hüftgelenkes geschieht gemeinschaftlich durch die Zusammenziehung mehrerer Muskeln, namentlich der nach auswärts rotirenden und des m. glutaeus maximus, dann durch die Spannung des ligamentum ilio-femorale (lig. superius von Ed. Weber), ligam. teres (?)*), ligam. ilio-tibiale (das äussere Blatt der fascia lata) und die Schwere. Da den gegebenen Thatsachen zufolge die Schwerlinie des Rumpfes *S V* nicht auf sondern hinter den Drehpunkt fällt, so kann dieselbe mit Beziehung auf den letzten zerlegt werden in eine auf ihm senkrechte und in eine wagrechte. Der nach der ersten Linie wirkende Antheil der Schwere wird durch den Drehpunkt unterstützt, der andere sucht dagegen den Rumpf auf den Schenkelkopf nach hinten zu drehen. Diesem letzteren Antheil von der Gesammtkraft der Rumpflast wirkt nun die Spannung des lig. superius entgegen, so dass an diesem Band der Theil der Last, welcher von dem Oberschenkelkopf nicht getragen wird, geradezu hängt. Die Fixation in der Ebene, die auf der eben bezeichneten senkrecht steht, übernimmt die gemeinschaftliche Wirkung der lig. teres (?), lig. ilio-tibiale und m. glutaeus maximus. Dieser letztere streckt und adduzirt bekanntlich zugleich; seiner Streckwirkung stellt sich das lig. superius entgegen, während die Adduktion in bekannter Weise theils das lig. teres (?) hemmt, theils aber das vom äusseren Beckenrand über den trochanter major zur tibia als eine starke

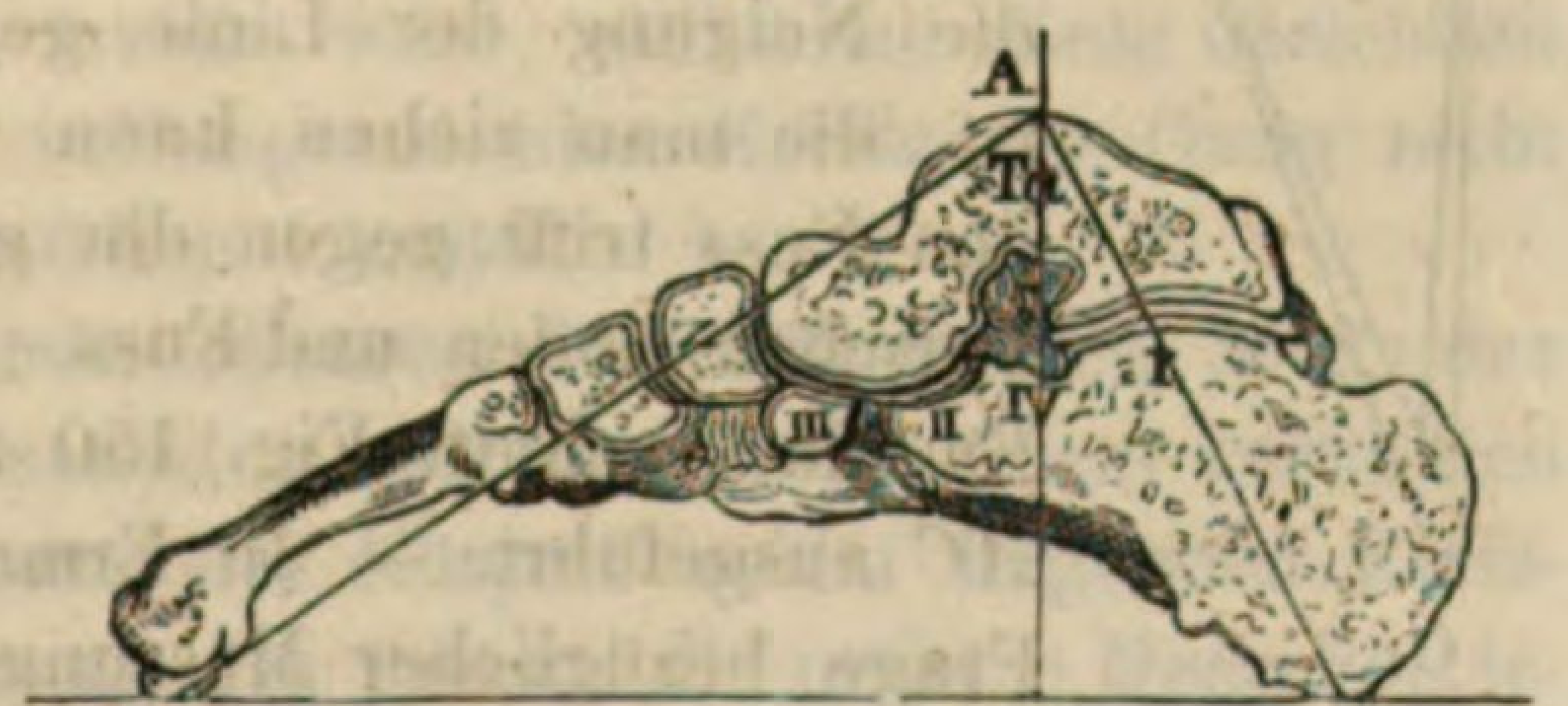
*) Siehe das Hüftgelenk p. 521.

Sehnenmasse hervortretende äussere Blatt der fascia lata. Die vollkommene Befestigung in dieser Stellung, bei welcher weder der Rumpf in einer von vorn nach hinten, noch in einer von rechts nach links gehenden Ebene fallen kann, geben endlich die Auswärtsroller, welche gleichzeitig die lig. superius und teres (?) spannen. — b) Die Steifung des Kniegelenkes ist gegeben: durch die in der Streckung grosse Berührungsstelle der entsprechenden Gelenkenden beider Knochen, durch die Zusammenziehung des vierköpfigen Streckers, durch die Spannung der ligam. ilio-tibiale, lateralia, cruciata und poplitaeum; das Zusammenwirken dieser Massen ist aus dem bekannten Mechanismus des Kniegelenkes für sich klar; hervorzuheben ist nur, dass das äussere Blatt der fascia lata (lig. ilio-tibiale) schon durch die Zusammenziehung des m. glutaeus maximus, der bekanntlich vorzugsweise in dieses Band sich einsetzt, in starke Spannung gebracht ist. Danach ist es nicht unwahrscheinlich, dass an diesem Band, welches den Streckmuskeln entgegen wirkt, der Rumpf auf ähnliche Weise im Kniegelenk, wie am lig. ilio-femorale im Hüftgelenk, hängt. — c. Die Steifung im Sprunggelenk wird besorgt durch die Schwere, durch die eigenthümliche Stellung der Sprungrolle und die schraubenförmige Ganglinie in der Tibio-fibularpfanne, durch das Anpressen der tibia gegen die Sprungrolle vermittelst des condyl. internus femoris, des ligam. laterale genu internum, poplitaeum und patellare und endlich durch die Auswärtsstellung beider Füsse. Da die Schwerlinie *GL* des Gesammtkörpers nicht senkrecht auf den Achsen der Sprungrolle steht, sondern vor dieselbe fällt, so kann die Wirkung der Körperschwere ihrer Richtung nach zerfällt werden in eine auf die Sprungrolle senkrechte und in eine wagrechte. Diesem letzten Antheil der Schwere, der den Rumpf nach vorn zu drehen strebt, kann nun keine Folge geleistet werden, und zwar zunächst wegen der gegenseitigen Lage, die den Flächen der beiden Sprungbeine zukommt. Denn wenn die beiden Unterschenkel gestreckt und damit einander paralell gestellt sind, so schneiden sich die Achsen der beiden Sprunggelenke in einem nach hinten offenen und darum ihre Flächen in einem nach vorn offenen Winkel, so dass eine gleichzeitige Beugung des Unterschenkels auf beiden Rollen unmöglich ist. Zudem kommt aber auch der Fuss beim Stehen in eine solche Stellung gegen den Unterschenkel, dass der hintere schmale Theil der Sprungrolle in der Gelenkfläche ruht; ist also ein Mechanismus vorhanden, der

die beiden Unterschenkelknochen in dieser Lage scharf gegen die Rollen anpresst, so wird ebenfalls die Beugung, bei welcher der breitere Theil des Astragulus in die Gelenkhöhle treten müsste, unmöglich. Dieses Zusammenpressen der Knochen wird aber gegeben durch eine Drehung der tibia um die fibula, welche jedesmal eingeleitet wird, wenn das Knie sich streckt, und zwar durch das Hervortreten des langen condylus internus femoris, das ligam. laterale internum und poplitaeum und den schiefen Ansatz der Kniestrecker gegen die tuberositas tibiae. Unwahrscheinlich ist es dagegen, dass die mm. gastrocnemii noch betheiligt sind bei dem Mechanismus, welcher das Vorwärtswerfen des Unterschenkels verhütet; ihre Verwendung würde wenigstens, da sie zugleich das Knie beugen, sehr unvortheilhaft sein. Kommt überhaupt eine Muskelkraft bei der Steifung des ersten Fussgelenkes in Frage, so dürften nur die vom Unterschenkel zum Fuss laufenden mm. tibialis posticus (Duchenne*), peronaei postici und soleus von Bedeutung sein.

3. Stellung des Sprungbeins auf dem Fussboden. Das Sprungbein *A* (Fig. 150) stützt sich am ergiebigsten auf das Fersenbein mit zwei Flächen *I*, *II*, zwischen welchen der bekannte Hohlraum bleibt, ferner liegt es noch vorn auf der Hohlfläche des Kahnbeins und dem ligam. calcaneo-naviculare. Dieser Lage und Stellung gemäss überträgt es den grössten Theil des auf ihm lastenden Gewichtes gegen das Fersenbein und drängt zugleich, wegen der entgegengesetzten Richtung der gegen ossa calcanei und naviculare zugewendeten Flächen beide Knochen auseinander und zwar das Fersenbein nach hinten und aussen, das Kahnbein aber nach vorn und innen. Hiebei hemmen das lig. calcaneo-naviculare *(III)* und der Apparatus ligamentosus *(IV)*, welche senkrecht aufeinander stehen, das Auseinanderweichen der drei Knochen.

Fig. 150.



Der auf das Fersenbein fallende Antheil der Körperlast überträgt sich auf die Erde durch den Fersenhöcker, welcher beim

*) Archiv général. Juni 1856.

Aufruhen des Fusses auf ebenem Boden nach aussen und hinten von der Mittelebene der Astragalusrolle liegt. Um diesen hinten gelegenen festen Punkt des Fersenbeins würde die vorn wirkende Last den vordern Fersenbeinfortsatz drehen, wenn er nicht vorn und innen durch das lig. calcaneo-naviculare und aussen durch einen spitzen unter das Fersenbein dringenden Fortsatz des os cuboideum und das lig. calcaneo-cuboideum getragen würde. Der dem os naviculare zukommende Lastantheil theilt sich durch das os cuneiforme prim. und metatarsi prim. und die zugehörigen Bänder den den Boden berührenden Sesambeinen mit, und ebenso geht der auf dem os cuboideum lastende durch os metatarsi quinti auf den Boden über.

Wegen der nach allen Seiten sich verbreitenden Spannung der Bänder kann der Fuss im Ganzen auch als ein Bogen angesehen werden, der auf drei Punkten ruht, deren gegenseitige Lage zu einander Fig. 151 angibt; *C* ist der aufruhende Punkt der Ferse, *S* der desjenigen des Sesambeins und *M* der des fünften Mittelfussknochens. Der Lastantheil, welchen jeder der drei Punkte zu tragen hat, kann im einzelnen Fall nach bekannten Regeln ermittelt werden, wenn die Neigung der Linie gegen den Horizont gegeben ist, die man ziehen kann von dem Ort, wo die Last den Fuss trifft gegen die genannten Berührungsstellen zwischen Boden und Fuss. Beispielsweise sind an dem Fussdurchschnitt Fig. 150 zwei dieser Linien *AB* und *AC* ausgeführt. — In Ermangelung genauer auf diese Frage bezüglicher Messungen ergibt der Augenschein, dass beim Stehen auf ebenem Boden die Ferse den grössten und der letzte Metatarsalknochen den geringsten Lastantheil unterstützt. Auf die Vortheile, welche für die Sicherheit des Stehens aus der Gegenwart dreier Stützpunkte jederzeit erwächst, braucht kaum aufmerksam gemacht zu werden. Ebensowenig ist hervorzuheben, dass durch die Rotation, welche entweder der ganze Fuss am os naviculare und cuboideum ausführt und durch die Bewegung des letzten Metatarsalknochens auf dem cuboideum, die Möglichkeit gegeben ist, die drei Punkte gegeneinander und gegen verschiedene Bodenunebenheiten zu verschieben.

Fig. 151.



Ein besonderes Problem bietet die Frage über das Stehen auf den Ballen, auf dessen Lösung aber hier nicht eingegangen werden kann. Es soll hier nur erwähnt werden, dass wir bei gebeugtem

und gestrecktem Fussgelenk auf einem oder mehreren Metacarpalköpfchen stehen können und dass, wenn das Stehen auf dem Ballen nur eines Fusses sicher sein soll, wir die Zehen gleichzeitig auf den Boden legen müssen, die sich dann dem Ballen gegenüber ähnlich verhalten als die Ballen der Ferse gegenüber, wenn wir auf dem ganzen Fusse ruhen.

B) Natürliches Gehen*). Unter ihm begreift man den Gang, durch den mit möglichst geringer Muskelanstrengung der Rumpf in einem gleichgrossen scheitelrechten Abstand vom Boden mit gleichförmiger Geschwindigkeit nach horizontaler Richtung mittelst der Beine fortgeschoben wird. Bei den folgenden Darstellungen ist ein wagrecht liegender Boden vorausgesetzt.

Diese Bewegung erfordert, wie aus ihrer Definition hervorgeht, 1. eine Kraft, welche in senkrechter Richtung wirkend den Schwerpunkt des Körpers stützt; diese senkrechte Kraft muss genau so gross sein wie die Schwere des Rumpfs, weil ohne diese Bedingung der Rumpf steigen oder fallen würde; 2. eine Kraft, welche in horizontaler Richtung wirkend den Rumpf vorwärts schiebt; diese letztere Kraft muss in jedem Angenblick der Geschwindigkeit nach vorn einen gerade so grossen Zuwachs ertheilen, als in diesem durch den Luftwiderstand verzehrt wird, weil ohne diese Gleichheit der beschleunigenden und verlangsamenden Kräfte der Gang nicht gleichförmig geschwind ausfallen könnte.

Diese Bedingungen können ebensowohl erfüllt werden, wenn der Schwerpunkt um einen horizontalen, als wenn er in einem vertikalen oder in einem zur Mittelebene des Körpers schief liegenden Kreisbogen geführt wird (H. Meyer). Da weitaus die meisten Menschen jedoch sich der letztern von den Gebrüdern Weber genauer studirten Gangart bedienen, so geben wir hier nur die Darstellung derselben. Bei dieser Art zu gehen, wird der Rumpf zuerst von einem senkrecht unter seinem Schwerpunkt stehenden Beine unterstützt, im nächsten Moment verlängert sich dasselbe und schiebt, indem es sich gegen den unnachgiebigen Boden stemmt, den beweglichen Rumpf vorwärts; diese schief gegen den Boden wirkende Kraft (Stemmkraft) lässt sich in eine horizontale und eine senkrecht wirkende zerlegen und genügt also zunächst den aufgestellten Forderungen, aber nur für eine kurze Wegstrecke, so lange nämlich als das stemmende Bein aus der Verkürzung in die Verlängerung

*) Ed. u. W. Weber, Mechanik der Gehwerkzeuge. Göttingen 1836. — H. Meyer, Müller's Archiv 1853. 365 u. 548.

übergehen kann. Ist die Streckkraft dieses ersten Beins erschöpft, so tritt die des andern Beins in Wirksamkeit, welches nämlich bisher in der Luft schwebend an dem nach vorn geschobenen Rumpf gerade so weit nach vorn schwingt, um in der neuen Lage desselben wieder als Stütze des Schwerpunkts dienen zu können. Dieses zweite Bein übernimmt dann die Rolle des ersten.

Wir werden nun noch eine genauere Zergliederung der hier auftretenden Bewegungen geben. Wir gehen dabei von dem Augenblick aus, in welchem die Beine mit dem Boden in der Profilprojektion ein rechtwinkliges Dreieck darstellen, dessen Catheten durch die auf den Boden fallenden Verbindungslinien beider Beine und das den Schwerpunkt senkrecht unterstützende Bein dargestellt werden, ein Augenblick, der also gerade dann besteht, wenn die Streckkraft des einen Beines erschöpft und die des andern im Maximum möglich ist.

Das stützende, senkrecht stehende Bein muss in diesem Augenblick den Schwerpunkt des Körpers allein tragen; zu diesem Behufe muss derselbe nach der Seite dieses Beines geworfen sein. Nach H. Meyer geschieht dieses einfach dadurch, dass der Fuss im Sprunggelenk gebeugt wird. Denn da die Beugungsebene des Sprungbeins schief von innen und hinten nach aussen und vorn von der Mittelebene des Körpers geht, so muss durch diese Beugung das obere Tibialende und damit der ganze Rumpf nach aussen, resp. auf die unterstützte Seite geführt werden. Ausserdem gilt für die Steifung der Gelenke alles das, was beim Stehen mitgetheilt worden ist. Geht nun das Bein aus der unterstützenden in die stemmende Periode über, so muss es sich verlängern, weil ohne dieses der Rumpf nicht in horizontaler Richtung nach vorn geschoben und getragen werden könnte. Diese Verlängerung geschieht zuerst durch Streckung des Knies und dann des Fusses im Sprunggelenk, wodurch zugleich der Rumpf um die Länge des Fusses, indem sich derselbe vom Boden abwickelt, nach vorn geschoben wird. Hierauf wird eine noch weiterschreitende Verlängerung durch möglichste Streckung im Hüftgelenke bewerkstelligt. Hat damit das Bein das Maximum seiner Verlängerung erfahren, so hebt es sich, um in dem nun folgenden Schwingungsakt keine Reibung zu erleiden, durch Beugung im Kniegelenk vom Boden ab. Die Muskeln, die sich bei dem ganzen Akte betheiligen, sind mm. gastrocnemii und soleus zur Streckung des Fusses, die vierköpfigen Kniestrecker und die

Hüftstrecker; am Schluss der Streckwirkung aber wiederum die mm. gastrocnemii zur Beugung des Knies. Nach Messungen der Gebrüder Weber beläuft sich der ganze Werth der Verlängerung des Beines um ungefähr $^1/_7$ derjenigen Länge, die es während des Stützens besitzt.

Ueber die möglichen Variationen der Streckung des Beins siehe Meyer, welcher aus einfachen Grundsätzen alle möglichen Individualitäten des Gangs ableitet, ein Unternehmen, das besonders dem Pathologen von Belang sein muss.

Als das erste eben betrachtete Bein sich in seiner grössten Verkürzung befand, hatte das andere seine grösste Länge erreicht und war in dem Augenblick, als das erstere zum stemmenden wurde, vom Boden abgehoben. Einmal abgehoben schwingt es nach vorn, aber nicht in Folge eines Muskelzuges, sondern einfach durch seine Schwere; es schwingt wie ein aufgehangenes Pendel, und zwar in der Richtung von innen und hinten nach aussen und vorn. Die Möglichkeit einer solchen Schwingung ist durch die aequilibrirte Aufhängung des Beins in der Pfanne gegeben, und der Beweiss für diese Art von Bewegung liegt darin, dass nach Messungen von W. Weber die Schwingungszeit am lebenden und todten Bein genau übereinstimmt und zwar gerade so viel beträgt, als die eines Pendels von der Länge des Beins und der ihm zukommenden Massenvertheilung.

Aus diesen Thatsachen ergeben sich nun alle auf die Schrittdauer und die Schrittlänge bezüglichen Folgerungen, die durch W. Weber's genaue Messungen am gehenden Menschen bestätigt sind. —

Die Schrittdauer ist einerseits abhängig von dem Zeitraum, in welchem beide Beine den Boden gleichzeitig berühren und anderseits von der Schwingungszeit des schwebenden Beins. Den ersten Punkt anlangend so unterscheidet sich bekanntlich das Gehen vom Laufen dadurch, dass im ersteren ein Zeitraum erscheint, in dem beide Beine auf dem Boden stehen; und im letztern ein solcher, in dem beide schweben; die Grenze beider Ortsbewegungen oder das sogenannte schnellste Gehen ist also mit Rücksicht auf den vorliegenden Umstand gerade dann erreicht, wenn der Zeitraum des gleichzeitigen Auftretens Null wird, d. h. wenn das eine Bein den Boden im Augenblick verlässt, in welchem das andere auftritt. — Die Schwingungszeit des schwebenden Beins ist aber abhängig von dem Abstand der Schenkelköpfe vom Boden und der Zahl der Grade, welche die Schwingung des Beins umspannt. Je kürzer die Beine

durch das natürliche Wachsthum oder je mehr sie angezogen sind, um so rascher werden sie dem Pendelgesetz gemäss ihre Schwingungen vollenden. Die Zahl der Grade, welche der Schwingungsbogen umfasst, finden ihren kleinsten Werth in dem Bogenabschnitt, der vollendet werden muss von dem Punkt an, wo das Bein vom Boden gehoben wird, bis zu dem, wo der Fuss senkrecht unter dem Schwerpunkt liegt, also von irgendwelcher Erhebung bis zur senkrechten Stellung des Beins. Beschränkt sich dasselbe auf diesen Schwingungsumfang, mit andern Worten auf eine halbe Pendelschwingung und schwingt nicht noch unnützer Weise jenseits des angegebenen vorderen Grenzpunktes, so wird es damit für einen gegebenen Stand der Schenkelköpfe die kleinstmöglichste Schwingungsdauer erreichen.

Die Schrittlänge ist abhängig von der Länge des abgewickelten Fusses und ferner für alle durch Wachsthum gleichlange Beine, von dem senkrechten Abstand zwischen dem Schenkelkopf und dem Boden in dem Augenblicke, wo die Streckung des Beins beginnt. — Der erste Punkt ist von selbst klar, und der zweite wird es sogleich, wenn man bedenkt, dass die Verlängerung des Beins um so mehr der horizontalen Bewegungsrichtung zu gute kommt, je niedriger die Schenkelköpfe stehen.

Eine Combination der über Schrittdauer und Schrittlänge gegebenen Mittheilungen ergibt, dass das schnellste Gehen, d. h. die grösste Schrittlänge und kleinste Schrittdauer möglich wird, wenn die Schenkelköpfe möglichst niedrig getragen werden, was mit der täglichen Erfahrung übereinstimmt.

In den Kreis unserer Betrachtungen müssen nun noch die Bewegungen und Stellungen gezogen werden, in welche der Rumpf und die Brustglieder beim natürlichen Gehen gerathen. Zuerst ist hier zu bemerken, dass der Rumpf, den der Luftwiderstand stetig in seiner Bewegung von hinten nach vorn verzögert, unwillkürlich beim Gehen nach vorn genigt wird, und zwar um so beträchtlicher, je rascher die Gangbewegung ist. Zweitens bewegt sich der Rumpf nicht vollkommen in einer horizontalen Ebene, sondern sinkt am Ende der stemmenden Wirkung eines Beins um ein Weniges, wird aber dann durch das als Stütze eintretente Bein wieder gehoben. Drittens endlich wird auch dem Rumpf eine kleine Drehung mitgetheilt durch das schwingende Bein, welches den Rumpf in einer horizontalen Ebene um den feststehenden Schenkelkopf des andern Beins

zu rollen sucht. Diese Wirkung wird aber aufgehoben durch eine gleich gehende Bewegung des Armes der entgegengesetzten Seite und eine entgegengesetzt gehende Bewegung des gleichseitigen Armes. Aus diesem Grunde bewegt sich der Arm auf der Seite des schwingenden Beins in einer diesem engegengesetzten Richtung, während der anderseitige Arm gleiche Schwingungsrichtung darbietet. —

Die geringe Ermüdung unserer Muskeln, die beim natürlichen Gang eintritt, und die es uns möglich macht, das Gehen weit längere Zeit hindurch zu ertragen, als das Stehen, erläutert sich vorzugsweise durch die Ruhe, welcher die Beine wechselnd hingegeben werden, indem das jedesmal schwingende Glied, von der Luft getragen, ohne Muskelanstrengung nach vorn bewegt wird.

Inwiefern die seitliche Symmetrie des Körpers von wesentlichem Einfluss auf die Regelmässigkeit des Ganges ist, und wie die Asymmetrie des Skelets zwischen hinten und vorn die Bewegung nur nach einer Richtung hin vorzugsweise bedingt, ist bei E. H. Weber*) nachzusehen.

C. Stimm- und Sprachwerkzeuge.

Mittels willkürlich beweglicher Organe sind wir im Stande, auf die mannigfaltigste Weise Töne zu erzeugen; unter diesen möglichen Tonwerkzeugen sind aber nur die von hervorragendem Interesse, welche in dem Schling- und Athemapparat eingefügt sind.

Stimme **).

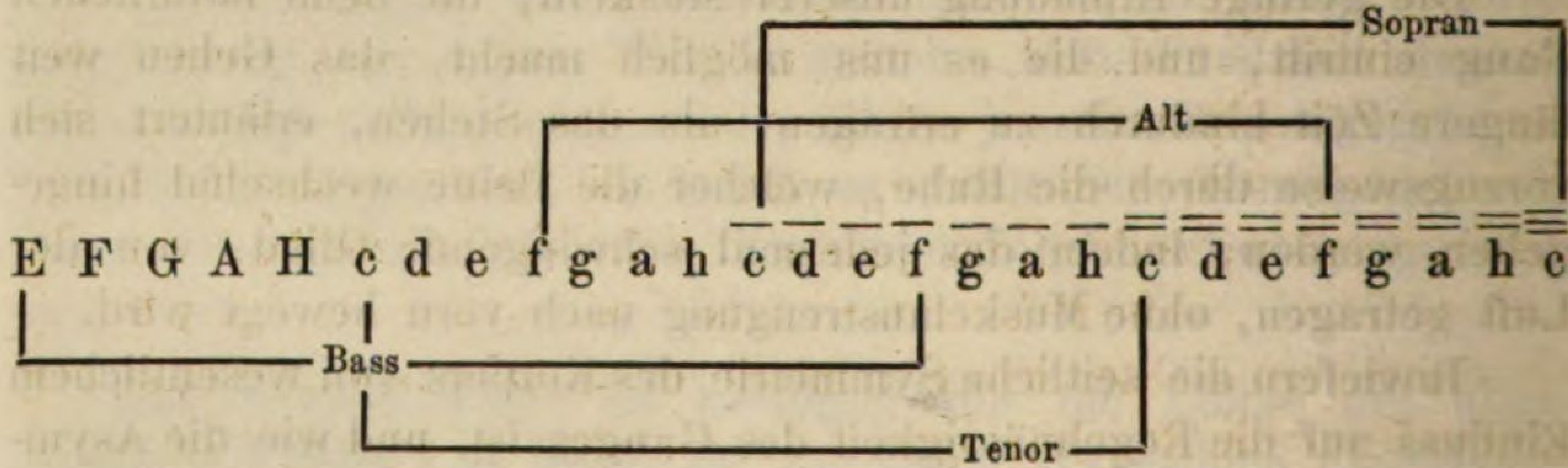
1. Musikalische Eigenthümlichkeiten der Stimme. Die Stimme, welche im Kehlkopf erzeugt wird, gestaltet sich rücksichtlich ihres Umfangs, ihrer Reinheit und ihres Klanges, vorausgesetzt, dass sie durch die aus den Athemwerkzeugen strömende Luft erzeugt wird, folgendermaassen:

a) Der Umfang der Menschenstimme, d. h. der Abschnitt der Tonleiter, welchen der menschliche Kehlkopf erzeugt, umfasst drei und eine halbe Oktave; im Mittel hat ihr niedrigster Ton 80 ganze Schwingungen in der Sekunde = E, und ihr höchster 992 ganze

*) Hildebrandt's, Anatomie. 4. Aufl. 1. Bd. 125.

**) J. Müller, Handbuch der Physiologie. II. Bd. 133. — Liscovius, Physiologie der menschlichen Stimme. Leipzig 1846. — Rinne, das Stimmorgan etc. Müller's Archiv 1850. — Longet, traité de Physiologie. I. Bd. 3. Heft 1852. — Manuel Garcia, Philosophical Magazine. Lond. 1855. X. Bd. 218. — Ueber die hier nicht besprochene Stimme beim Einathmen siehe Liscovius l. c. p. 50 und Segond, Compt. rend. XXVI. Bd.

Schwingungen. In diesen Gesammtumfang theilen sich nun die einzelnen Individuen in der Art, dass eine gute Einzelstimme zwei bis zwei und eine halbe Oktave beherrscht. Indem man Rücksicht auf die Tonhöhe der Einzelstimmen nimmt, unterscheidet man Bass, Tenor, Alt, Sopran. Nach ganz bekannten Angaben theilen sich diese Einzelstimmen in die menschliche Tonleiter der folgenden Tafel gemäss.



Bass und Tenor sind das Eigenthum der männlichen, Alt und Sopran das der weiblichen Stimme, so dass die tiefe weibliche Stimme ungefähr um eine Oktave höher beginnt, als die tiefe männliche, und die hohe weibliche um eine Oktave höher endigt, als die hohe männliche.

Einzelne Bässe gehen noch viel tiefer herunter als hier angegeben; so erwähnt man Sänger, welche noch das F mit 43 (ganzen) Schwingungen erzeugen konnten. Knaben- und Castratenstimmen sollen öfter bis zum f emporsteigen. Ganz ausgezeichnete individuelle Stimmen gebieten über 3, ja in ganz seltenen Fällen über 3½ Oktaven.

b) Klang. Die menschliche Stimme ist zahlloser Klangarten fähig; man kann geradezu behaupten, dass jedes Individuum sich durch einen besondern Klang der Stimme auszeichnet. Aber in dieser unbeschreiblichen Mannigfaltigkeit des Klanges der menschlichen Stimme überhaupt charakterisirt sich im Allgemeinen doch wieder die männliche von der weiblichen durch eine besondere Tonfärbung, und innerhalb der männlichen und weiblichen ist wiederum der Tenor vom Bass und der Sopran vom Alt durch einen eigenthümlichen Klang unterschieden. Nicht minder ist die Stimme eines Individuums sehr zahlreicher Modifikation des Klanges fähig. Von den verschiedenen Stimmarten des Individuums sind aber nur wenige dem musikalischen Ohr so wohlgefällig, um in der ausübenden Tonkunst verwendet zu werden. Die verwendeten Klangarten (Register) haben die gemeinsame physiologische Eigenthümlicheit, dass sie schon von den wesentlichen Theilen des

menschlichen Stimminstrument hervorgebracht werden. Man belegt diese einzelnen Register (welche also den verschiedenen weiblichen Stimmen ebenso gut zukommen, als den männlichen) mit dem Namen der Brust- und Kopf- oder Fistelstimme. — Die Bruststimme charakterisirt sich durch einen vollen starken Klang; ihren Namen hat sie daher erhalten, dass bei ihrer Erzeugung die Brustwandungen in ein der aufgelegten Hand fühlbares Erzittern gerathen. Die Fistelstimme zeichnet sich durch eine flötenartige weiche Tonfärbung aus. Alle Töne, welche ein Individuum hervorbringen kann, vermag dasselbe übrigens nicht mit Brust- und Fistelstimme nach Belieben zu erzeugen. In das Gebiet der Bruststimme fallen jedesmal die tiefern, in das der Fistel die höhern Noten, und nur wenige Töne, welche auf der Grenze zwischen Brust- und Fistelstimme gelegen sind, können nach Belieben in beiden Registern angegeben werden. Der Unterschied zwischen Fistel- und Brustklang ist beim Weibe weniger ausgeprägt als beim Manne.

c) Stärke der Stimme. Sie ist sehr verschieden, im Allgemeinen aber bei Individuen mit kleinem Brustkasten und wenig geräumiger Mundhöhle schwach. Ausserdem können jedesmal die tiefsten Töne, die ein Individuum hervorzubringen vermag, nur schwach angegeben werden, während die höchsten nur sehr laut ansprechen. Das allmälige Anschwellen eines Tones, sein Gang vom piano zum forte oder umgekehrt, ist der menschlichen Stimme möglich, aber nur mit Schwierigkeiten und nach einer besonderen Erziehung derselben.

d) Reinheit der Stimme. Man versteht hierunter bald die Reinheit des Klangs, ihre Befreiung von schwirrenden Geräuschen und dann auch wieder das Vermögen, den Ton von gewünschter Höhe zu treffen. Im erstern Sinn wechselt sie bei demselben Individuum nach der Lebensweise und dem Lebensalter beträchtlich; gewissen Lebensperioden ist sie vollkommen versagt; z. B. dem Greisen- und Säuglingsalter, der Zeit, in welcher vorzugsweise die Geschlechtsentwicklung stattfindet; nach starken Erhitzungen, während bestehender Katarrhe in der Rachenhöhle und in dem Kehlkopf, nach starken Anstrengungen der Stimme ist die Reinheit getrübt. Im zweiten Sinne ist die Reinheit der Stimme keine angeborene, sondern eine anerzogene Eigenschaft, wie sogleich daraus erhellt, dass ein Individuum mit mangelhaft ausgebildetem Gehör niemals eine reine, die Noten treffende Stimme gewinnt, selbst wenn seine Stimmwerkzeuge sich auch der höchsten Vollendung erfreuen.

2. Methoden, um den Antheil der einzelnen Stücke des Stimmapparates auf ihre musikalischen Leistungen zu prüfen.

a. Nach dem bahnbrechenden Vorgange von Joh. Müller benutzt man zur Ermittlung des Antheils, den die einzelnen Gebilde an der Erzeugung der Stimme nehmen, den todten ausgeschnittenen Kehlkopf. Zu diesem Zweck richtet man sich ihn auf verschiedene Weise vor, je nachdem man nur den Kehlkopf für sich oder zugleich auch die Mundwerkzeuge mit in den Kreis der Untersuchung ziehen will. — Im ersten Fall trennt man den Kehlkopf vom Zungenbein, dem Kehldeckel und der Speiseröhre und schneidet ihn darauf von der Luftröhre ab, jedoch so, dass noch ein längeres Stück derselben mit ihm in Verbindung beibt. Dann entfernt man auch vorsichtig die oberen Stimmbänder, so dass man bequem die oberen freien Flächen der unteren Stimmbänder sehen und mit Bequemlichkeit einen belasteten Körper, z. B. einen Messerstiel, auf sie führen kann. Bei dieser Operation muss aber die Schleimhaut, welche die mm. arytenoidei transversi überzieht, vollkommen erhalten bleiben. Nachdem man den Kehlkopf sorgfältig gereinigt hat, bindet man das ihm anhängende Luftröhrenrudiment auf ein weites rechtwinklig gebogenes Glasrohr und befestigt den ganzen Kehlkopf und zwar am besten dadurch, dass man die cornua superiora der cartilag. thyreoidea in einen Halter klemmt, wie sie in physikalischen und chemischen Laboratorien gebräuchlich sind. Dann schlingt man jederseits um den processus muscularis der cartil. arytenoidea einen dreifachen Faden; einer derselben liegt in der Richtung des m. thyreo-arytenoideus; zur bequemen Handhabung desselben führt man ihn auf die vordere Fläche der cartil. thyreoidea durch eine Oeffnung, die man jederseits über die Mitte des Ansatzpunktes von m. thyreo-arytenoideus gebohrt hat. Von den beiden andern Fäden legt man den einen nach der mittlern Faserrichtung des m. crico-arytenoideus lateralis und die andere nach der Richtung des m. arytenoideus proprius. Diese Fäden sucht man, indem man sie über eine feststehende Rolle führt, in den bezeichneten Richtungen festzuhalten, so dass man dann durch ein angehängtes Gewicht die Stimmritze in jede den Muskelwirkungen entsprechende Form bringen kann. — Andere Arten des Aufhängens und der Vorbereitung des Kehlkopfes siehe bei Joh. Müller*) und Liscovius**). — Verwickelter wird die Vorbereitung des Kehlkopfs, wenn man ihn untersuchen will, während der Schlundkopf, die Mund- und Nasenhöhle noch mit ihm in Verbindung sind. Da zudem die aus dem Versuch mit einem solchen Kehlkopf gewonnenen Thatsachen höchst zweifelhafter Natur sind, so mag die Beschreibung desselben hier unterbleiben. — Hat man nun mittelst der Fäden die Stimmritze in die zum Tonangeben nöthige Form gebracht, so bläst man eine mit Wassergas gesättigte Luft, am besten geradezu die Ausathmungsluft eines lebenden Menschen, durch das Rohr. Wenn es dem Beobachter von Bedeutung ist, die Spannung zu kennen, welche die tonerzeugende Luft besitzt, so wird es noch nothwendig, seitlich in das anblasende Rohr eine heberförmig gebogene Glasröhre, wie sie zum Druckmessen gebräuchlich ist, einzufügen, und einen Theil ihres auf- und absteigenden Schenkels mit Wasser oder Quecksilber zu füllen. Man sollte auf den ersten Blick denken, dass diese Vorrichtung vollkommenn genüge, um nicht allein über die Leistungen des Kehlkopfes, sondern über die Stimmbildung überhaupt in's Klare zu kommen; denn es scheint, als ob man sich, untergeordnete Abweichungen bei Seite gesetzt, den Stimmapparat vor

*) l. c. p. 185.
**) l. c. p. 14.

Augen gelegt und so zugänglich gemacht habe, dass man durch succesive Veränderung der einzelnen Abtheilungen desselben die Funktion einer jeden bestimmen könne. — Bei genauer Betrachtung ergeben sich aber doch wesentliche, und was noch mehr, gar nicht zu berechnende Abweichungen von den natürlichen Verhältnissen. Denn einmal ist überhaupt die Elastizität der Weichtheile wesentlich verändert, wie sich sogleich daraus ergibt, dass in den Bändern die Elastizität in einem Zusammenhang steht mit ihrer Temperatur und der Menge von eingesogener Flüssigkeit, in den Muskeln aber zudem noch abhängig ist von den Lebenseigenschaften und namentliuh davon, ob der Muskel noch erregbar, todtenstarr oder schon gefault ist. Diese Abweichung der Elastizität wird die Folge mit sich führen, dass der Klang sich vollkommen ändert, dass die Züge, welche die Bänder auf gleichen Spannungsgrad bringen sollten, im Leben und im Tod verschieden stark sein müssen und endlich, dass dieselben Luftstösse nicht dieselben Intensitäten und Zahlen der Schwingungen erzeugen werden. — Eine noch bedeutendere Abweichung des präparirten vom lebenden Kehlkopf liegt aber darin, dass in dem ersten nicht allein accessorische Werkzeuge entweder ganz ausfallen, oder wenigstens die durch Muskelwerkzeuge erzeugbare Veränderung in der Spannung noch vorhandener Hilfswerkzeuge zum Verschwinden kommt. Nun wirken aber bekanntlich in vielen Instrumenten die resonirenden Theile wesentlich mit zur Bildung der Tonhöhe. Ob der Stimmapparat zu dieser letzteren Art von Instrumenten gehöre, kann darum am todten Kehlkopf nicht entschieden werden und begreiflich nützt die Erhaltung der Luftröhre, des obern Stimmbandes, des Kehldeckels u. s. w. am todten Kehlkopf nichts, wenn man nicht gleichzeitig auf eine dem Leben entsprechende Weise die Volumina der in diesen Räumen enthaltenen Luft und die Spannungen ihrer Wände zu ändern im Stande ist. — Diese Abweichungen, so gross sie sind, genügen aber nicht, um wie Longet und Masson wollen, die Untersuchung der Leistungen des todten Kehlkopfs vollkommen zu verwerfen; im Gegentheil scheint es unter allen Umständen nöthig, die Untersuchungen über die Stimme mit der isolirten Betrachtung aller einzelnen stimmerzeugenden Werkzeuge und somit auch des wichtigsten derselben zu beginnen. Es ist eines der zahlreichen grossen Verdienste von Joh. Müller um die Experimentalphysiologie, diese Wahrheit erkannt und in vortrefflicher Weise in's Leben geführt zu haben.

b) Man macht den Kehlkopf am lebendenden Thiere zugänglich und zwar entweder nach Longet*) dadurch, dass man die Kiefer von Hunden und Katzen sehr weit sperrt und die Zunge weit genug hervorzieht, um die Stimmritze zu sehen, oder indem man durch Einschnitte in den Kehlraum den Kehlkopf zu Tage legt und ihn mannigfach verstümmelt, während man die Thiere durch Schmerzerzeugung zum Schreien bringt. Die letzte dieser beiden Beobachtungsmethoden ist noch sehr zu vervollkommnen, namentlich dadurch, dass man die Luftröhre durchschneidet und in ihr Kehlkopfende ein Rohr zum Anbalsen anbringt, während man auf Mittel denkt, einzelne Muskeln beliebig in Erregung oder Ruhe versetzen zu können.

c) Garcia bedient sich eines Kehlkopfspiegels, d. h. eines kleinen, auf einer längern Handhabe sitzenden Spiegels, den er erwärmt in den geöffneten Schlund einführt und zwar so, dass er der Oeffnung des Kehlkopfs gegenübersteht; in ihm spiegelt sich der Kehldeckel, die cart. arytenoideae, die obern und untern Stimmbänder mit grosser Deutlichkeit. Bei Anwendung dieses werthvollen Instrumentes darf man die Gaumenflächen nicht berühren.

*) l. c. p. 175.

d) Man beobachtet die äusserlich sichtbaren Theile der Stimmwerkzeuge des Menschen, während sie verschiedene Tonhöhen geben; und endlich

e) Bildet man auch auf künstliche Weise Instrumente nach, mit dem allgemeinen Charakter der menschlichen Stimmwerkzeuge. Auch dieser vielversprechende Weg ist noch weiter zu betreten als bisher geschehen.

3. Orte der Stimmerzeugung. Die ursprünglich tönenden Stellen des menschlichen Stimminstrumentes sind die unteren Stimmritzenbänder und die durch ihre Spalte dringende Luft. Den Beweis für diese Annahme liefern mannigfaltige Thatsachen am lebenden und todten Kehlkopf. Denn jede dort vorgenommene Durchschneidung oder Texturveränderung (Anschwellung u. s. w.) verändert am Lebenden die Stimme oder hebt sie auch ganz auf, während durch keine andere Verletzung der Rachenhöhle oder Luftröhre die Möglichkeit der Stimmbildung vernichtet wird. Ebenso gelingt es am todten Kehlkopfe mittelst eines durch die Stimmritze geblasenen Luftstroms noch einen dem menschlichen sich annähernden Ton zu erzeugen so lange die unteren Stimmritzenbänder unverletzt in ihrer normalen Lage sich befinden, mag man den Kehlkopf auch sonst noch so sehr verstümmelt haben. Diese Fähigkeit des Kehlkopfes ist erloschen, wenn man an dem sonst unverletzten Kehlkopf die Stimmbänder ausgeschnitten hat. Ebenso wenig können aber auch die Bänder durch Anschlagen u. dergl., sondern nur durch Anblasen zu einem lauten, der menschlichen Stimmstärke entsprechenden Tone gebracht werden.

Nach dieser Erkenntniss ist es nun Aufgabe, die Bedingungen zu untersuchen, von denen im Kehlkopf die Tonbildung überhaupt, insbesondere die Höhe und der Klang der Töne abhängt.

4. Bedingungen zur Tonbildung überhaupt. a) Das Andringen eines einigermaassen kraftvollen Luftstosses gegen die Stimmhäute; wir erschliessen dies, weil es uns nur beim Ein- und Ausathmen gelingt, einen Ton im Kehlkopf zu erzeugen, und auch diesen nur dann, wenn der hierdurch erzeugte Luftstrom gegen die Bänder andringt. Denn es ist die Möglichkeit, mittelst der Ausathmung eine Stimme zu erzeugen, verschwunden, wenn zwischen Lunge und Kehlkopf eine Oeffnung in der Luftröhre sich befindet, durch welche die aus der Lunge tretende Luft, ohne mit den Stimmbändern in Berührung zu kommen, entweichen kann. In Uebereinstimmung hiermit ist es, dass man durch Anblasen des todten Kehlkopfs von der Trachea her einen stimmähnlichen Ton erzeugen kann, keinen aber durch Anschlagen der Bänder. Der Apparat,

welcher im Leben den Luftstoss erzeugt, ist der Brustkorb, dessen Bewegungen beim Athmen beschrieben werden sollen.

Cagniard-Latour*), dem die seltene Gelegenheit wurde, einen Menschen mit einer Luftröhrenfistel so weit zur Verfügung zu haben, dass er mit der Luftröhre einen Druckmesser verbinden konnte, gibt an, dass die Spannung der Luft in der Trachea das Gleichgewicht hielt einer Wassersäule von 945 M.M. Höhe, wenn der Kranke seinen Namen laut ausrief; von 160 M.M., wenn er einen mittleren Ton sang; von 200 M.M., wenn der Ton, ohne lauter zu werden, hoch stieg. Ein todter Kehlkopf verlangte nach J. Müller zum Anspruch tiefer Töne im Piano 13 bis 26, zu demjenigen hoher Töne im Fortissimo 80 bis 135 M.M. Wasserdruck.

b) Die Bandmasse muss eine möglichst vollkommene Elastizität besitzen. Die Bänder bestehen bekanntlich aus elastischem Gewebe, auf welchem eine dünne Schleimhaut mit einem Pflasterepithelium (H. Rheiner) aufsitzt. Verlieren dieselben ihre Elastizität entweder, wie diess häufig während des Lebens geschieht, durch Infiltration ihrer Schleimhaut mit wässerigen Flüssigkeiten, oder, wie oft am todten Kehlkopf vorkommt, durch Austrocknen, so geht die Stimme verloren.

c) Die Flächen und Kanten der Bänder, welche die Stimmritze umgrenzen, müssen frei sein. Eine geringe Belastung, namentlich der obern Flächen, mit Schleim stört die Stimmbildung auffallend.

d) Die Stimmbänder müssen in die besonderen Stellungen gebracht sein, bei welchen sich die sogenannte Stimmritze bildet.

Fig. 152.



Um diese letztere herzustellen, ist in die Stimmbänder ein eigenthümlicher Mechanismus eingefügt. — Jedes der beiden Stimmbänder, welche man besser Stimmhäute nennen würde (siehe Fig. 152), entspringt bekanntlich von der concaven Kante der cart. thyreoidea *A* und heftet sich dann an den innern obern Rand der cartilago cricoidea *BB* fest und zwar von dem äusseren Rand des ligament. cricothyreoideum medium bis zur innern Seite der Gelenkfläche für die cart. arytenoideae *CC*. In den hintern innern Winkel dieser Stimmbänder ragt ein gebogenes Knorpelstück, der proc.

*) L'institut. janvier 1838.

vocalis der cart. arytenoidea hinein, welches bei seinen Bewegungen die Hautfalte auf mannigfaltige Weise biegen kann und namentlich so, dass ihre Fläche bald den Kanal des larynx mehr oder weniger normal schneidet, bald dass sie sich annähernd den Kanalwandungen parallel stellt. — Die Biegungen, welche hier vorkommen können, werden bestimmt durch die besondere Art der Gelenkverbindung zwischen cart. arytenoidea und cricoidea und durch drei Muskelpaare, von denen sich zwei an den proc. muscularis und das eine an den proc. vocalis ansetzen. — Die Basis der cart. arytenoidea reitet immer auf dem obern Ende der abschüssigen Kante, durch welche die Platte in das schmale Stück der cart. cricoidea übergeht in der Art, dass der Giesskannenknorpel leicht nach vorn und hinten sich überbiegen und nach rechts und links drehen kann, wobei bald die beiden process. musculares, bald die process. vocales schief in die Höhe gerichtet sind oder bald die einen oder die andern mit ihren freien Enden gegen die Mittellinie des Kehlkopfs sehen. In keinem Fall aber können sich die mittleren Theile des Knorpels selbst nähern, eine Bewegung, welche sowohl durch die Form der Gelenkflächen und die zwischen beiden liegenden Knorpelstücke, als auch durch die Bandverbindungen gehindert wird. — Die Muskeln bewirken bei ihrer Verkürzung folgende Stellungen der Stimmhäute. Die mm. crico-arytenoidei postici ziehen die proc. musculares mit ihren freien Enden nach innen und unten, in Folge dessen steigt der proc. vocalis nach aussen und oben; im Maximum der Wirkung wird hierbei die Stimmmembran fast vollkommen verstrichen, so dass keine spaltförmige Verengerung, keine sogenannte Stimmritze, sondern eine breite rautenförmige Oeffnung zwischen den freien Rändern der Stimmmembranen bleibt. Bei dieser Stellung kann niemals eine Stimme erzeugt werden. — Die mm. crico-arytenoidei laterales ziehen bei ihrer Verkürzung die proc. musculares nach aussen und unten, in Folge dessen treten die Spitzen der process. vocales nach oben und nach innen bis zur gegenseitigen Berührung; hierbei wird der Theil der Stimmhaut, welcher eingeschlossen ist vom vordern Rand des proc. vocalis, der cartil. cricoidea und thyreoidea nach innen und oben gebogen, so dass sich nun die freien Ränder der Stimmhäute von dem process. vocalis bis zur concaven Kante der cart. thyreoidea an einander lagern; der zwischen ihnen bleibende Spalt ist die Stimmritze. Die Ränder der Stimmhäute aber, welche eingeschlossen sind zwischen der hintern Grenze der proc. vocales und der höchsten Stelle der

Ringplatte, weichen zur Bildung einer dreieckigen Oeffnung, der Athemritze, aus einander. Auf einem senkrechten Schnitt erscheinen die freien Ränder der Stimmritze abgerundet. — Der m. thyreo-arytenoideus kann, den Endpunkten seiner Fasern entsprechend, in eine portio arythyreoidea und ein portio aryvocalis zerlegt werden. Die erstere ist ein dünnes Muskelblatt, das annähernd einem gleichschenkligen Dreieck gleicht. Die Basis desselben erstreckt sich am Schildknorpel schief von unten nnd innen nach oben und aussen. Unten unmittelbar am untern Querschnitt des Schildknorpels erreicht die Ursprunglinie den Winkel, welchen die beiden Schildplatten einschliessen, und oben etwas über dem tiefsten Punkt des obern Ausschnittes ist sie um etwas mehr, als die Breite des Aryknorpels beträgt, nach aussen gelangt. Fast alle Fasern, die von dieser Linie ausgehen, convergiren gegen den untern Theil der äussern Kante des Aryknorpels (über dessen proc. muscularis) und greifen zum Theil über die Kante hinweg gegen die hintere Fläche. Gegen den untern Schenkel ist das Muskelblatt dicker als am obern, d. h. die von unten und innen nach oben und aussen gehenden Fasern sind zahlreicher als die von oben und aussen nach unten und innen laufenden. Diese Abtheilungen des thyreo-arytenoideus werden bei ihrer Verkürzung die beiden Knorpel einander nähern durch Drehung im Crico-ary- und im Crico-thyreo-Gelenk; die stärkern untern Bündel werden zugleich den äussern Rand der cart. arytenoidea nach unten und innen drehen, wodurch, wenn die Bewegung beiderseits eintritt, die process. vocal. gegeneinander gedrückt, die Stimmbänder abgespannt und einander genähert werden. — Die portio aryvocalis geht vom untern Ende der vordern Fläche der cart. arytenoidea [zwischen proc. muscularis und vocalis] aus und verläuft in annähernd parallelen Bündeln auf der Stimmhaut, um successive am Stimmband zu enden. Die kürzesten Fasern hören unmittelbar vor dem vordern Ende des proc. vocalis, die längsten neben der cart. thyreoidea auf. Diese Fasern ziehen insgesammt das Stimmband nach unten und aussen, und insofern sie sich gesondert zusammenziehen können, werden sie dem Stimmband nach seiner Länge ungleiche Spannungen ertheilen können, indem die zwischen dem Ursprung der zusammengezogenen Faser am Aryknorpel und ihren Ansatz am Stimmband gelegene Abtheilung des letzteren abgespannt und der Rest desselben angespannt wird.

Die Stellungen, welche m. crico-arytenoideus lateralis und thyreo-arytenoideus erzeugen können, sind es, welche sich zur Bil-

dung der Stimme nothwendig erweisen. Die Stimme spricht nun aber, wie aus Versuchen am todten Kehlkopf hervorgeht, beim Durchblasen von Luft um so besser an, je mehr zugleich die mit dem Namen der Athemritze bezeichnete dreiseitige Oeffnung zwischen den hintern Rändern der proc. vocales geschlossen ist. Dieser Verschluss scheint auf zwei Arten möglich, durch die mm. thyreo-arytenoidei und arytenoidei proprii. Bei der Wirkung der mm. thyreo-arytenoidei legen sich die vorderen abgestumpften Spitzen der proc. vocales sehr innig zusammen, viel inniger als bei der Wirkung der mm. crico-arytenoid. lateralis und drängen zugleich einen Theil des die Athemritze umkleidenden Bandstreifens in dieselbe, so dass deren Oeffnung schon sehr geschmälert wird; vollkommen geschlossen kann sie werden, wie es scheint, durch die aufrecht stehenden Stücke der cart. arytenoidea, wenn sie nach einwärts und vorn gezogen sind, eine Bewegung, die ihnen durch die mm. thyreo-arytenoidei gleichzeitig mit der Stellung der Stimmritze mitgetheilt wird. — Wird dagegen die Stimmritze gebildet durch die Wirkung der mm. crico-arytenoidei laterales, so bleibt am todten Kehlkopf der dreieckige Raum unverschlossen; zu seiner Verschliessung im Leben könnten möglicherweise mm. arytenoideus transversus und obliquus helfen, durch welche die aufrecht stehenden Aeste (nicht aber die Basen) der cartil. arytenoideae einander genähert werden; bei dieser Annäherung wird wahrscheinlich eine Schleimhautfalte vorgeschoben, welche wie ein Pfropf in die Oeffnung dringt.

Ueber die Form, welche die Stimmritze im lebenden Zustand beim Tonangeben besitzt, besteht nach Beobachtungen an Menschen, deren Stimmritze durch zufällige Verletzungen bloss gelegt war, die übereinstimmende Angabe, dass dieselbe einen linienförmigen Spalt darstelle. Garcia macht nach seinen Versuchen mit dem Kehlkopfspiegel die genauere Angabe, dass sich, so wie ein Ton angegeben werden soll, die cart. arytenoideae einander nähern, ihre innern Flächen und processus vocales so gegen einander pressen, dass keine Athemritze übrig bleiben, ja dass sich zuweilen die cart. Santorin. kreuzen. Hierbei kommen die untern Stimmritzenbänder in mehr oder weniger innige Berührung.

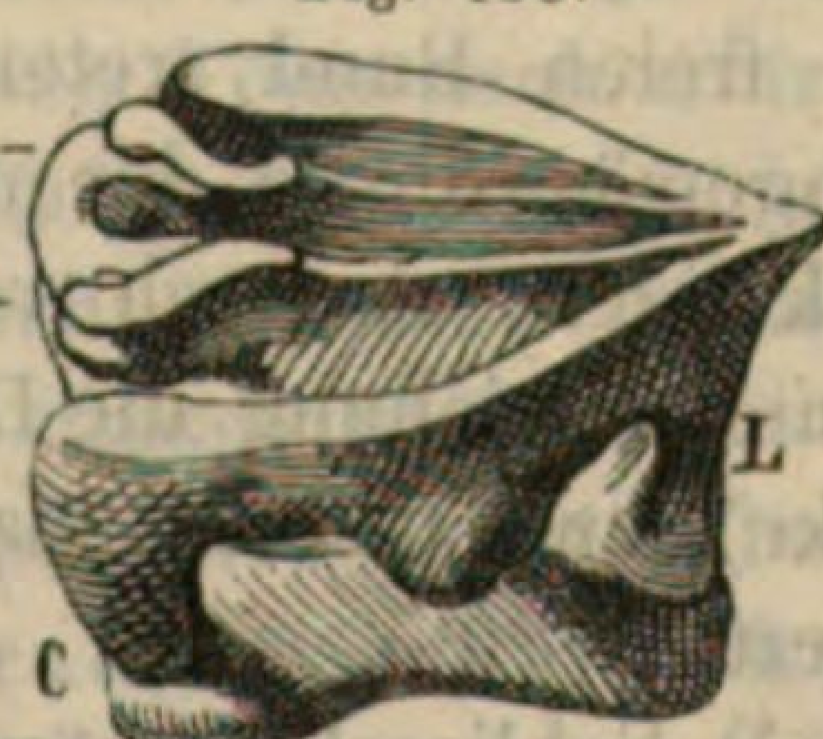
Der todte Kehlkopf des Menschen verlangt zur Ansprache eine Stellung der eigentlichen Stimmbänder, bei welcher die zwischen ihnen bleibende Ritze eng ist, während der hintere dreieckige Raum so gut wie vollkommen geschlossen sein muss (J. Müller).

Rudolphi, Mende, Mayo, Bell etc.*) zeigten an lebenden Menschen, deren Stimmhäute durch eine Verwundung des Kehlkopfs blosgelegt waren, und Magendie durch Versuche an Thieren, dass beim Stimmangeben die Stimmbänder zur Bildung einer Stimmritze sich nähern müssen; Kempelen's (ibid.) Behauptung, dass die Stimmritze nicht breiter als eine Linie sein dürfe, wenn ein Ton entstehen solle, bestätigte J. Müller durch Untersuchungen am todten Kehlkopf, insofern er zeigte, dass ein Luftstoss, der durch eine beträchtlich erweiterte Stimmritze fährt, ein blasendes Geräusch, aber keinen Ton erzielt. Ferner lehrte J. Müller, dass das Stimmorgan ungewöhnlich schwer anspricht, wenn die Athemritze offen geblieben, seien auch sonst die Stimmhäute noch so günstig gelagert. — R. Willis**) machte darauf aufmerksam, wie es wohl nicht genügen möchte, wenn überhaupt die Bänder sich zur Bildung einer Spalte zusammenlegen, sondern dass die Bandränder, die die Spalte einschliessen, eine besondere Form besitzen müssen. —

Nach Beobachtungen an Thieren soll die vordere Stimmritze, d. h die Oeffnung zwischen der cart. arytenoidea und der cart. thyreoidea bei Hunden eine elliptisch und bei Katzen eine geradlinig begrenzte Spalte darstellen. Dabei soll der dreieckige Raum zwischen den cartilag. arytenoideis bald geschlossen sein und bald offen stehen, je nachdem die Thiere mehr oder weniger laut schreien (Magendie, Longet).

e) Zu den Bedingungen, unter denen ein Kehlkopf Töne erzeugen kann, gehören ferner bestimmte Grenzen von Spannung in den Stimmhäuten. Uebersteigt ihr Spannungsgrad dieselben, so spricht, selbst wenn alle andern Umstände noch so günstig, der Ton nur sehr unvollkommen und schreiend an; befindet sich der Spannungswerth dagegen unterhalb derselben, so wird nur ein undeutliches Brummen möglich. — Die Einrichtungen aber und Umstände, durch welche die Stimmhäute in ihrer Spannung verändert werden können, sind verschiedener Natur. — α) Es können die Stimmhäute durch Vergrösserung oder Verringerung der Entfernung zwischen cartil. thyreoidea und der cart. arytenoidea in ihrer Länge verändert und damit verschiedentlich gespannt werden. Zur Veränderung der genannten Entfernung tragen zwei Muskelpaare bei, indem sie (Fig. 153) die cartilago thyreoidea um ihr Gelenk bei *C* drehen, und zwar verkürzen die mm. thyreo-arytenoidei den genannten Abstand, während die mm. crico-thyreoidei ihn vergrössern. — Eine mittlere Stellung der cart. thyreoidea wird endlich durch das lig. crico-thyreoideum *L* gegeben. Ein Theil dieses Spannungsapparates, die mm. crico-thyreoidei nämlich kann begreiflich in Wirksamkeit treten, mag die Stimmritze

Fig. 153.



*) Magendie's Physiologie ed. Heusinger I. 243.
**) Magendie l. c. p. 265.

durch die mm. crico-arytenoidei laterales oder durch die mm. thyreo-arytenoidei gestellt sein; im letztern Fall, wo den mm. crico-thyreoidei Antagonisten entgegentreten, wird dann nur die Differenz der gerade verwendeten Kräfte beider Muskelpaare der Längenausdehnung der Stimmhäute zu Gute kommen, so dass also, wenn mm. crico-thyreoidei überwiegen, die mm. thyreo-arytenoidei die Stellung, aber nicht die Spannung der Stimmhäute ihrer Länge nach bestimmen. Ob sich hierbei die nach aussen gelegenen Theile der Stimmhäute weniger spannen, als die nach innen gelegenen (Rinne), bedarf noch weiterer Untersuchung.

β) Die Stimmhäute können durch seitlichen Druck mittelst der Platten des Schildknorpels eine Spannungsveränderung erfahren. Der tiefe Einschnitt (von oben nach unten) an der Kante des Schildknorpels und die geringere Dicke (in der Richtung von vorn nach hinten) desselben an der Kante machen es möglich, dass die freien hintern Enden von einer verhältnissmässig geringen Kraft gegenseitig genähert werden können. Diese Möglichkeit wird realisirt durch ein Fascikel des m. thyreo-cricoideus, welcher von der cart. cricoidea entspringt, nachdem diese schon in den von den Platten der c. thyreoidea umschlossenen Raum getreten ist, welches also von innen nach aussen und zudem ein weniges von unten nach oben und von vorn nach hinten läuft. Diese Bewegung verschmälert um ein Geringes die Breite des Stimmbandes (?).

γ) Auf die Stimmmembranen ist der m. thyreo-arytenoideus so aufgelagert, dass er als ein integrirender Theil derselben angesehen werden muss, namentlich erstreckt er sich der Art über die ganze Breite der Membranen, dass er nur einen sehr schmalen Theil des freien Randes unbedeckt lässt. Dieser schmale Theil, das Stimmritzenband der Anatomen, verhält sich als Sehne gegen die mm. thyreo-arytenoidei, indem die Muskelfascikel, welche schief gegen den freien Rand treten, hier an der elastischen Masse enden. Demgemäss dürfte der m. thyreo-arytenoideus, abgesehen von andern Wirkungen, dadurch von Bedeutung werden, dass er durch seine Zusammenziehung die Dimensionen (das Verhältniss der Länge zur Dicke) und den Elastizitätscoeffizienten der schwingenden Massen ändert. —

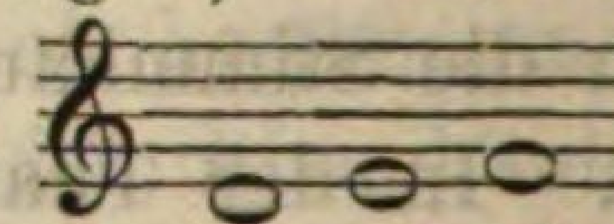
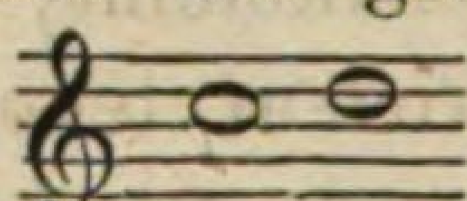
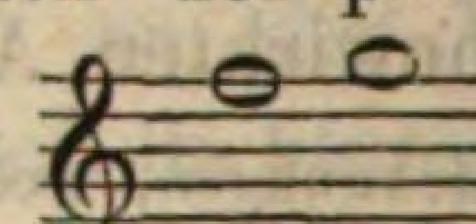
δ) Schliesslich können die Stimmhäute noch durch den Luftstrom, der sie von der Luftröhre her trifft, in Spannung versetzt werden; durch denselben werden die in der Ruhe ebenen Stimmhäute nach oben in den ventriculus Morgagni hineingewölbt. Der

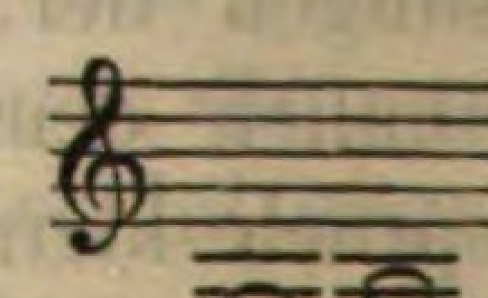
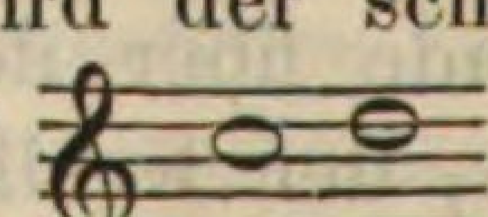
Umfang dieser Wölbung wird wachsen mit dem Druck, unter welchem die Luft strömt und mit der Entfaltung der Stimmhaut vor dem Querschnitte der Luftröhre; diesem letztern Umstand gemäss wird, alles Andere gleichgesetzt, der Luftstrom von grösserer Wirksamkeit werden, wenn die Stimmritze durch die mm. thyreo-arytenoidei, als wenn sie durch die mm. crico-arytenoidei laterales gestellt ist, weil dann die Stimmhäute dem spannenden Luftstrom mehr Fläche darbieten. In der That sieht man auch am todten Kehlkopf die Stimmhäute durch einen gleichstarken Luftstoss sich viel beträchtlicher wölben, wenn man ihnen die Stellung gegeben, wie es ihnen durch eine Contraktion des m. thyreo-arytenoideus zukommt, als dann, wenn man sie nach der durch die mm. crico-arytenoidei laterales bewirkten Art gestellt hat.

Als Bezeichnungen, welche den Funktionen gemäss den Kehlkopfsknorpeln zu geben wären, schlage ich vor die cart. cricoidea Grundknorpel, die cart. thyreoidea Spannknorpel und die cart. arytenoideae Stellknorpel zu nennen.

f) Endlich soll die Anwesenheit des ventriculus Morgagni nothwendig sein, um einen Ton analog demjenigen, den ein unverletztes, lebendes Stimmorgan hervorbringt, zu erzeugen. Ueber diesen Punkt bestehen jedoch entschiedene Controversen; nach Longet kann ein Thier, nachdem man seinen Kehlkopf gerade über dem untern Stimmbande durchschnitten hat, nur noch mit ausserordentlich starken Bewegungen des Brustkastens, wie sie der heftigste Schmerz erzeugt, einen schwirrenden Ton hervorbringen, selbst bei noch so günstiger Stellung der Stimmritze. Brachte er dagegen ein passendes Kautschouckrohr über die Stimmbänder, als Ersatz des ventric. Morgagni, so wurde auch bei geringen Pressungen der im thorax enthaltenen Luft wieder ein Ton möglich, ähnlich dem normalen des Thieres. — Im vollkommenen Widerspruch hiermit ist die Beobachtung von Joh. Müller am todten Kehlkopf, der bei geringen Pressungen noch Töne nach Abtragen des ventric. Morgagni erzeugt. Uebereinstimmend mit diesen letzten Erfahrungen beobachtete auch Mayo noch an einem Menschen Stimmbildung, der sich gerade über den Stimmbändern mit Verletzung des einen der beiden, den Kehlkopf durchschnitten hatte.

5. Bedingungen für die Veränderung der Tonhöhe. — Ueber die Veränderungen, welche das lebende Stimmorgan erfährt, wenn es von den tiefsten zu den höchsten seiner Töne aufsteigt, sind wir vorzugsweise belehrt worden durch die bemerkenswerthen Mittheilungen von Garcia, und die äussere Beobachtung des Kehl-

kopfs und des Luftstroms. — a) Nicht bei allen Tonhöhen und Registern ist die Stimmritze gleich leicht sichtbar; bei den kräftigen und tiefen Tönen des Brustregisters legt sich der Kehldeckel herab durch Zusammenziehung der Aryepiglottis-Falten; bei schwachen und bedeckten Brust- und bei allen Falsettönen ist dagegen der Kehlkopf genügend geöffnet. Die Veränderungen, welche an ihm bemerkt werden, sind im Tenor folgende: Wird  schwach angegeben (nur dann ist der Kehldeckel weit genug erhoben, um eine Einsicht zu erlauben), so schwingen die Band- und Knorpelränder der glottis ihrer ganzen Länge nach. — Steigt der Ton auf , so beginnen die hintern Enden der proc. vocales sich aneinander zu legen und wenn die Töne , welche das Ende des Brustregisters darstellen, erreicht sind, so haben sich die proc. vocales ihrer ganzen Länge nach aneinander gelegt und es schwingen nur noch die Bänder allein. — Mit diesen Veränderungen Hand in Hand geht eine Verengerung des von den obern Stimmfalten umschlossenen Raumes, der bei den höchsten Tönen gerade nur noch so weit offen bleibt, dass das Stimmband als eine feine Linie sichtbar ist; in den tiefern Tönen wird dagegen die Oeffnung zwischen den obern Stimmbändern elliptisch. Niemals ist jedoch die Oeffnung so gering, um der durchströmenden Luft ein Hinderniss zu bieten. Ausserdem wird in dem Maasse, in welchem die Stärke des Tones anwächst, auch die Höhle des Kehlkopfes enger und der Kehldeckel herabgezogen, und zwar in dem Grade, dass bei kräftigem Anschlag erst bei den beiden letzten Noten des Brustregisters die glottis sichtbar wird.

Werden im Sopran mit Falsetstimme die Noten  angeschlagen, so schwingt die ganze Stimmritze die vordern Enden der processus vocales mit eingeschlossen; beginnt von da ab die Stimme zu steigen, so wird der schwingende Theil der Bänder immer kürzer, so dass bei  die Bänder allein schwingen; bei noch höheren Ton wird zugleich die Stimmritze enger (Garcia). — b) Die Stimmlage steht in Beziehung zur Grösse des Kehlkopfs und insbesondere zu seiner Ausdehnung von hinten nach vorn. Denn die Kinder und Frauen, deren Stimme höher als die der Männer ist, haben kleinere Kehlköpfe als die letzteren; und unter

den Männern gehören die kleinsten Kehlköpfe den Tenoristen. Leider sind bisher noch nicht alle Dimensionen des Kehlkopfs gemessen; durch Joh. Müller ist bekannt, dass die Entfernung zwischen cart. thyreoidea und arytenoideae bei Männern zu derjenigen bei Frauen sich verhalte = 3 : 2. — c) Bei dem Steigen der Töne nähern sich die vordern Kanten der cartilag. thyreoidea und cricoidea; dieses fühlen wir, wenn wir einen Finger sanft an den Ort des ligam. crico-thyreoideum medium anlegen. Bei der eigenthümlichen Verbindung der beiden Knorpel bedeutet dieses aber nichts anderes, als dass hierdurch die untern Stimmritzenbänder und die Seitenwandungen der ventricul. Morgagni in der Richtung von hinten nach vorn gedehnt und in einen höhern Grad von Spannung versetzt werden. Nach Longet *) wird auch die Stimme der Hunde tief und rauh, wenn man ohne anderweite Verletzung den Nerven der mm. crico-thyreoidei durchschneidet. Diese Rauhigkeit wird aufgehoben, wenn man die genannten Knorpel mit der Pinzette nähert. — d) Alles Andere gleichgesetzt, steigt der Ton im Allgemeinen mit der Luftspannung in der Trachea, wie dieses nicht allein aus den mitgetheilten Beobachtungen von Cagniard-Latour, sondern auch daraus folgt, dass wir die höchsten der möglichen Töne nur im forte und die tiefsten nur im piano angeben können. — e) Bei dem Emporgehen des Tones tritt der ganze Kehlkopf unwillkürlich in die Höhe, beim Sinken des erstern steigt dagegen der letztere herunter, so dass also der Halstheil der Luftröhre in dem einen Falle gespannt, im andern erschlafft wird, und sich zugleich der Luftraum über den Stimmbändern bald verkleinert und bald vergrössert. — Begreiflich lässt sich nun aber weder aussagen, ob diese Veränderungen die einzigen sind, welche beim Tonwechsel an den Stimmorganen vorgehen, noch ob jede derselben von gleicher Wichtigkeit ist, da es uns nicht gelingt, die einzelnen Vorgänge zu sondern.

Diese Thatsachen hat man noch durch Beobachtungen am todten Kehlkopf zu ergänzen gesucht; an ihm ist die Tonhöhe abhängig: a) von der Spannung der Stimmhäute in der Art, dass mit dem Wachsthum der letztern die erstere steigt; b) von der Ausbreitung der Stimmhäute von rechts nach links und von hinten nach vorn und zwar so, dass die Töne sich erhöhen, wenn die Stimmhäute nach diesen Richtungen abnehmen (sich ver-

*) Recherch. experim. sur les fonctions des nerfs etc. Gazette medic. 1841.

schmälern und verkürzen). — Unabhängig ist aber die Tonhöhe von dem queren Durchmesser der Stimmritzöffnung, der Länge der Röhren, die an sein oberes und unteres Ende gesetzt würden und dem Spannungsgrad, welchen man den Wandungen dieser angesetzten Röhren mittheilte.

Die Versuche am todten Kehlkopf haben folgende Ergebnisse geliefert. — a) Longitudinale Spannung der Stimmhäute (Joh. Müller). Man erzeugt dieselben analog der Wirkung der lebendigen mm. crico-thyreoidei durch einen Zug, der von der vordern Fläche der cartil. thyreoidea gegen die cartil. cricoidea gerichtet ist. Der Ton erhöht sich bei steigender Spannung der Bänder, gleichgiltig ob die Stimmritze nach Art der mm. crico-arytenoidei laterales oder der mm. thyreo-arytenoidei gestellt ist. Hiebei werden jedoch die tiefsten der möglichen Töne nur erzeugt bei der letztern Stellung, wobei die Bänder am meisten erschlafft werden können, während die höchsten der möglichen Töne nur in der ersteren Stellung zum Vorschein kommen. Der Unterschied, den beide Stellungen rücksichtlich der Tonhöhe herbeiführen, liegt also darin, dass in dem einen Falle die Scala tiefer beginnt und früher endet, im andern aber höher anfängt und auch später schliesst. Eine Anzahl von Tönen können jedoch in beiden Stellungen hervorgebracht werden, so dass beide Scalen in einander greifen. — Der Gesammtumfang der Töne eines erwachsenen Kehlkopfs beträgt über zwei Oktaven. Die Töne finden ihre Grenze nach der Tiefe hin früher als die mögliche Annäherung der cartil. thyreoidea und arythenoidea erreicht ist, und ebenso nach der Höhe hin, ehe die möglichste Entfernung gegeben, indem über einen gewissen Grad von Ab- und Anspannung hinaus der Ton unrein, brummend oder schreiend wird. — Der Entwicklung des Gesetzes der Abhängigkeit zwischen Tonhöhe und spannenden Gewichten setzen sich theils darum Schwierigkeiten entgegen, weil der durch das spannende Gewicht herbeigeführte Zug nicht einzig den Stimmbändern zu Gute kommt in Folge des Widerstandes anderer Theile, insbesondere der Gelenkbänder und Flächen, und theils weil es nicht gelingt anzugeben, um wieviel der Luftstrom, welcher zum Anblasen gebraucht wird, die Spannung mehrt. Joh. Müller hat nun durch Versuche gefunden, dass immer nur ein Ton entsteht, wenn auch die beiden Bänder gleichzeitig besondere Stimmung haben; ferner, dass die Tonhöhe annähernd steige, wie die Wurzeln der spannenden Gewichte, so dass, wenn man das Gewicht von 4 zu 16 erhöht, die Schwingungszahl der Töne um das Doppelte zunimmt; keiner der von ihm untersuchten Fälle erreicht jedoch den verlangten Werth, indem niemals bei der beispielsweise angegebenen Gewichtsvermehrung die Oktave, sondern immer ein etwas tieferer Ton erscheint. — Die Stimmlage des todten Kehlkopfs ist im Allgemeinen etwas höher als die eines lebenden Stimmorgans von entsprechenden Dimensionen.

b) Durch Verkürzung der Stimmbänder kann, wenn auch ihre Spannung und die Stärke des anblasenden Luftstroms dieselbe bleibt, der Ton erhöht werden; diese Erhöhung ereignet sich also sogleich, wenn man bei sonst veränderten Umständen den freien Rand des Stimmbandes mit einem festen Körper berührt, welcher Veranlassung zu Schwingungsknoten gibt. Auf diese Weise erklärt sich die dem früheren scheinbar widersprechende Beobachtung, dass bei möglichster Abspannung der Stimmhäute der Ton statt sich zu vertiefen höher wird; es hat nämlich in diesem Fall durch eine gegenseitige Berührung der Stimmhäute die Bildung von Schwingungsknoten stattgefunden (Joh. Müller).

c) Ebenso wird der Ton bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen erhöht, wenn man den angewachsenen Theil der Stimmhäute mit Gewichten beschwert, oder die Platte der cartilago thyreoidea zusammendrückt, so dass nicht mehr die Stimmhaut in ihrer ganzen Ausdehnung nach der Breite, sondern nur noch mit ihrem freien Rand schwingen kann (Liscovius). Durch das letztere der beiden Mittel gelingt es leicht den Ton um mehr als eine Octave zu erhöhen.

d) Verändert man weder die Stellung der Stimmbänder noch ihre spannenden Gewichte, steigert aber die Stärke des anblasenden Luftstroms, so erhöht sich der Ton (Ferrein). Das Genauere dieses Abhängigkeitsverhältnisses ist nicht bekannt. Nach J. Müller kann man durch allmälige Steigerung des Anblasens in den Grenzen, wie sie dem Lebenden vergönnt sind, den Ton um eine Quinte erhöhen. Diese Tonsteigerung soll nach dem letzteren Autor davon abhängig sein, dass sich die Stimmbänder durch eine Wölbuug in dem ventriculus Morgagni anspannen.

Der Beweiss, dass die Tonhöhe unabhängig steige und sinke von der Stimmritzenweite, ist auf einfache, selbstverständliche Weise zu erbringen. — Die Einflusslosigkeit der Länge und der Wandspannung der angesetzten Röhren stellt man nach Joh. Müller am einfachsten dar, wenn man an das Rohr zum Anblasen noch ein Stück menschlicher Luftröhre und ausserdem zwei ineinander schiebbare Röhren einsetzt; so kann man ein Stück Wandung an- und abspannen und das Ansatzrohr verkürzen oder verlängern. Diese Unabhängigkeit des Kehlkopfs und insbesondere diejenige von den Längen der Ansatzröhren, versetzte denselben in eine Ausnahmsstellung zu den ihm verwandten Instrumenten. Denn an allen Zungeninstrumenten, die in ihrem schematischen Bau eine grosse Aehnlichkeit mit dem Kehlkopf darbieten, kann der ursprüngliche von der Zunge abhängige Ton durch allmälige Verlängerung der Ansatzröhren um eine ganze Oktave vertieft werden. Rinne, der nach der Ursache dieses eigenthümlichen Verhaltens forschte, fand, dass dann jedenfalls eine Accommodation zwischen dem ursprünglichen Ton im Zungeninstrument und der mit ihm in Verbindung gebrachten umgrenzten Luftsäule fehlt, wenn die Zunge in der Weise in das angesetzte Rohr eingefügt wird, dass dieselbe dem Ausströmen der in der Röhre bewegten Luft keinen besondern Widerstand entgegensetzt. Diese Accommodation fehlt also z. B. wenn der Spalt, in welchem die Zunge schwingt, im Verhältniss zu den Dimensionen der Röhre weit geöffnet ist, oder die Zunge auf sehr nachgiebigen Flächen schwingt. Diese Bedingungen scheinen nun an der Stimmritze, deren begrenzende Bänder als Zungen aufgefasst werden können, verwirklicht zu sein*).

Von hervorragendem Interesse für die Fesstellung der Bedingungen, von welchen die Tonhöhe abhängig ist, würde, seine tadelfreie Ausführung vorausgesetzt, der Versuch von Liscovius sein, die Stimmbänder des lebenden Menschen mit einem andern Gase, als der gewöhnlichen Einathmungsluft anzublasen. Liscovius**), der den Versuch mit Wasserstoffgas, das er einathmete, unternahm, fand eine Veränderung der Tonhöhe seiner Stimme; leider ist aber der Versuch so angestellt zu unvollkommnen, da man wegen der Nichtathembarkeit des Wasserstoffgases, dieses ohne zu ersticken nur in kleinen Quantitäten in der Lunge beherbergen kann. —

6. Zur Theorie der Tonbildung in dem Kehlkopf und insbesondere zur Bildung der Tonhöhe. Wenn die durch

*) Eine populäre Darstellung der auf Zungeninstrumente bezüglichen Fundamente siehe bei Bindseil, Akustik. Potsd. 1839.; das hier Einschlagende p. 453 u. f.

**) l. c. p. 35.

den Druck des Brustkastens in Strömung versetzte Luft der Lunge und der Luftröhre die Befähigung zum Tönen erhalten soll, so muss ihre ursprünglich gleichförmige Geschwindigkeit, wie sie dem constanten Druck der Brustmuskeln entspricht, in eine rasch veränderliche periodisch steigende und fallende versetzt werden. Diese Umsetzung des gleichmässigen, in einen unterbrochenen oder wellenförmigen Strom geschieht an der Stimmritze, vorausgesetzt, dass die Stimmhäute eine Stellung einnehmen, bei welcher sich ein beträchtlicher Theil ihrer Ausdehnung senkrecht auf die Richtung des Luftstroms stellt; mit andern Worten eine Stellung, bei welcher ihre freien Ränder weit in das Lumen der Luftröhre ragen. In diesem Fall werden sie durch den anstossenden Luftstrom gegen den ventriculus Morgagni hin bewegt werden und zwar so lange, bis die durch die Ausdehnung ihrer Masse erzeugte Spannung das Gleichgewicht hält der zuerst mitgetheilten Stosskraft. In dieser Stellung, welche resultirt aus dem Gleichgewicht des ursprünglichen Stosses und der elastischen Spannung, sind aber die Lippen der Stimmritze nicht mehr unter einem rechten Winkel gegen den Luftstrom geneigt, so dass die Summe der Drücke, welche ihre Fläche von Seiten der Luft erfährt, geringer geworden, und zugleich hat sich auch mit der Lagenveränderung der Stimmhäute die Grösse der Stosskraft vermindert, da in der bezeichneten Stellung sich die Oeffnung der Stimmritze vergrösserte, womit sich auch die Spannung der Luft in Folge des erleichterten Ausströmens verringert. Die gespannte Stimmhaut wird demnach keinen entsprechenden Widerhalt mehr von Seiten des Luftstroms finden und in Folge dessen sich wieder zurück gegen ihre ursprüngliche Lage hin bewegen; je mehr sie sich aber derselben nähert, um so günstiger wird sie sich wieder für den Empfang des Stosses stellen und um so mehr wird sie auch wieder die strömende Luft hemmen und spannen, so dass endlich wieder die sich entgegenwirkenden Stösse der Elastizität und des Luftdruckes das Gleichgewicht halten; da nun aber in dieser neuen Lage die Stimmhaut keine elastische Spannung mehr besitzt, so wird sie von Neuem durch den Luftstrom gegen den ventric. Morgagni geführt werden u. s. w. — Diese schwingende Bewegung der Stimmbänder führt nun eine abwechselnde Hemmung und Beschleunigung in den Luftstrom, der aus der Trachea in den ventriculus Morgagni dringt. Da aber dieser Luftstrom innerhalb des Kehlkopfs und ebenso über und unter ihm von mannigfach vorspringenden Wandungen um-

schlossen ist, so theilt er seine Stösse letztern mit, und da die Wandungen aus elastischen Stoffen gebildet sind, so werden sie durch diese Stösse in Schwingungen gerathen, welche die Periode der schwingenden Stimmritzenbänder einhalten. Die Bewegung, die im ersten Moment die Stimmritzenbänder allein ausführten, verbreitet sich somit alsbald auf den gesammten Kehlkopf, die Luftröhre und die Lungenwandung und dann wird auf gleichmässige Weise der ganze Luftinhalt dieser Gebilde erschüttert. Somit wird also im Allgemeinen nicht allein ersichtlich, dass der aus der Trachea dringende Luftstrom, eine bestimmte Stellung der Stimmritzenbänder vorausgesetzt, tönen muss, sondern dass er wegen vielfacher Resonanz auch kräftig tönen muss. Die Tonhöhe wird bestimmt durch die Anzahl der Unterbrechungen, welche der Luftstrom in der Stimmritze während der Zeiteinheit erfährt, mit andern Worten durch die Schwingungszahl der Stimmbänder (Joh. Müller); demnach muss die Tonhöhe abhängig sein sowohl von der Länge der Stimmbänder (Garcia), als auch von dem Spannungsgrade derselben, so dass wenn dieser letztere unverändert bliebe, der Ton gleichbleiben würde, möchte die Stärke des Luftstroms auch noch so grossen Schwankungen unterworfen sein (J. Müller). Die Einrichtung, dass die Tonhöhe ebensowohl durch Verkürzung der schwingenden Abtheilung der Stimmbänder, als auch durch Spannung der letzteren gesteigert werden kann, hat nach Garcia den Sinn, dass wenn das erstere Mittel erschöpft ist, das zweite in Wirksamkeit tritt.

Dieser Behauptung traten früher Liscovius, bevor er sich zu der Müller'schen Ansicht bekehrte, und neuerlichst Longet und Masson mit einer andern entgegen; den wesentlichen Bestimmungsgrund der Tonhöhe finden sie in der Spannung, welche die mitklingenden Gebilde, insbesondere die Wandungen des ventric. Morgagni besitzen. Nach ihnen steigert sich die Tonhöhe, wenn bei unveränderlicher Stimmbänderspannung und gleichbleibender Stimmritzenöffnung die Stärke des Luftstroms wächst, oder wenn bei gleichbleibender Stimmbänderspannung und unverändertem Luftstrom der Durchmesser der Stimmritzenöffnung abnimmt.

Von physikalischer Seite her sind beide Annahmen insofern unangreifbar, als durch beide sich die Möglichkeit der Bildung einer Stimme mit den Eigenschaften der menschlichen einsehen lässt. — Der Einwand, der sich der Hypothese von J. Müller entgegnen liesse, ob Häute von so kleiner Ausdehnung, wie die Stimmbänder befähigt seien, eine so vollklingende und so ausgedehnte Tonreihe zu bilden, ist in der That widerlegt, denn es geben schon kleine Kautschoukplatten, wie sie J. Müller zur Construktion des schematischen Kehlkopfs anwendete, mehrere Oktaven, obwohl ihre Elastizität diejenige der Stimmbänder in keiner Weise erreicht. Denn diese letzteren haben nicht allein als durchfeuchteter thierischer Stoff eine vollkommenere Elastizität, sondern es steigert sich ihr Elastizitätscoeffizient zugleich mit der Spannung, so dass diese bei einer sehr geringen Längenausdehnung des Bandes schon einen sehr beträcht-

lichen Werth besitzt. — Zur Begründung der andern Vorstellung hat Masson*), Versuche von Savart verfolgend, die akustischen Erscheinungen untersucht, welche ein Luftstrom bietet, der sich durch eine Oeffnung in einer Metallplatte drängt. Er fand a) dass wenn die Luft durch eine Oeffnung von beliebiger Form und Grösse tritt, der Strom hinter derselben jedesmal ein wellenförmiger wird, weil die Ränder der Oeffnung in eine schwingende Bewegung gerathen. b) Die durch diese Schwingungen erzeugten Töne, welche an und für sich sehr schwach sind, werden aber sehr voll, wenn man auf die Oeffnung ein Rohr von passender Länge aufsetzt, dessen Luft in Mitschwingungen geräth. c) Der Ton, welchen eine bestimmte Oeffnung und ein bestimmtes Rohr geben, bleibt unverändert, wenn sich die Stärke des Luftstroms innerhalb enger Grenzen ändert, mit einer weitern Steigerung der Stromstärke erhöht sich der Ton. d) Jede noch so kleine Verbiegung der Ränder der Oeffnung oder der Platte, durch welche der Luftstrom tritt, verändert sogleich die Tonhöhe, welche derselbe Luftstrom vorher gab. e) Röhren mit häutigen Wandungen verstärken den Ton viel beträchtlicher, als solche von Holz und Metall; ist man im Stande den Wandungen wechselnde Spannungen zu ertheilen, so kann dasselbe Rohr, durch dieselbe Oeffnung angeblasen, die mannigfaltigsten Töne geben, und zwar steigt mit der Spannung der Röhrenwand die Tonhöhe. f) Ebenso ist ein beträchtlicher Tonwechsel möglich, wenn man innerhalb des Rohres die Grösse der mitschwingenden Luftsäule durch theilweise Verstopfung des Rohrs veränderlich machen kann. g) Die Drücke, welche der Luft mitgetheilt werden müssen, um an einem solchen Apparat Töne zu erzeugen, sind immer sehr niedrig. So erhielt Masson aus Oeffnungen von 2 bis 7 M.M. Durchmesser, die in Platten von 3 bis 5 M.M. Dicke gebohrt waren, eine Tonreihe, die neun Oktaven umspannte, während der Druck von 2 bis 100 M.M. Wasser wechselte.

Hält man nun die am todten und lebenden Kehlkopf aufgefundenen Thatsachen mit den Bedingungen und Anforderungen dieser beiden Vorstellungen zusammen, so passen sie mehr oder weniger für beide. So spannen sich z. B. in der That mit einem Steigern der Tonhöhe die Stimmbänder, wie es Müller verlangt, zugleich aber mehrt sich, der Masson'schen Hypothese entsprechend, die Spannung der resonirenden Gebilde. — Ferner steigt mit der Stärke des Luftstroms, vorausgesetzt, dass der Contraktionsgrad der Muskeln derselbe blieb, die Stimme, wie es Masson verlangt, zugleich aber spannt auch der stärkere Luftstrom die Stimmbänder mehr an. Nach Longet soll die Stimme der Thiere nach Abtragung des Morgagni'schen Ventrikels im wahren Wortsinn verschwinden, indem sie dann nur noch unter heftigen Anstrengungen einen einzigen explosiven Ton zu erzeugen vermögen; mit dieser Thatsache steht es aber in direktem Widerspruch, dass ein ausgeschnittener Kehlkopf des Menschen, an dem man die oberen Stimmbänder abgetragen, noch zur Stimmbildung befähigt ist u. s. w.

So weit man jetzt sieht, befindet sich die Theorie von Joh. Müller durch die Beobachtungen von Garcia im entschiedenen Uebergewicht; nach ihnen verändert sich die Räumlichkeit und die Spannung des Kehlkopfs über den Stimmbändern nicht in der Weise, wie es die Theorie von Masson verlangt, und namentlich ist ein und derselbe Ton, je nach seiner Stärke, von ganz verschiedenen

*) Recherches expérim. sur le mouvement etc. Compt. rend. XXVI. 257.

Zuständen jenes Raumes begleitet, während die Stimmritze selbst sich bei der Aenderung der Tonhöhe genau so verhält, wie es die Theorie von J. Müller voraussagt.

7. Bedingungen für die Bildung der Brust- und Fistelstimme; Theorie derselben. Die Beobachtungen über die Vorgänge in den Stimmwerkzeugen beim Uebergang der Töne aus dem einen in das andere Register bestehen darin, dass beim Anschlagen einer Note von gleicher Höhe die Länge der schwingenden glottis in der Fistel eine grössere ist, als in der Bruststimme; zugleich schwingen auch die Bänder bei der ersteren in grösserer Breite und die Stimmritze ist weiter geöffnet (Garcia); aus letzterem folgt, dass bei der kräftigen Bruststimme, niemals aber bei der Fistelstimme, die Wandungen des ganzen Brustkorbes in ein fühlbares Mitschwingen gerathen, weil sich nur bei ihrer Bildung dem Luftstrom eine beträchtliche Hemmung an der Stimmritze entgegensetzt und dass bei gleicher Anfüllung des Brustkastens mit Luft dieselbe Note gleichlaut gesungen, im Brustton länger gehalten werden könne als im Fistelton, mit andern Worten, bei Anwendung des ersten Registers entweicht die Luft nicht so leicht, als bei Benutzung des zweiten (Garcia*)); ferner ist, wie schon angeführt wurde, der Kehldeckel bei der Fistel weniger herabgezogen und die oberen Stimmbänder sind weiter geöffnet, und endlich sind, wie bekannt, dem Gefühl des Sängers nach die Kehlkopfsmuskeln bei der Bruststimme angestrengter, als bei der Fistelstimme.

Auch am todten Kehlkopf sind die beiden Stimmarten zu erzeugen und zwar mit einem Klang, der selbst nach dem Urtheil von gebildeten Sängern demjenigen der lebenden menschlichen Stimme sich sehr annähert. — Fisteltöne enstehen auf dem todten Kehlkopf, wenn sichtlich nur die freien Ränder der Stimmmembranen schwingen, während wenn die letztern in ihrer ganzen Ausdehnung vibriren der Brustton erscheint (Lehfeldt). — Die tiefsten auf dem todten Kehlkopf erzeugbaren Töne gehören der Brust, die höchsten der Fistelstimme an (Liscovius).

Rücksichtlich der Bedingungen, welche zur Erzeugung der beiden Register gehören, finden sich die Beobachtungen am todten und lebenden Kehlkopf nach den neuern Erhebungen nicht mehr in der Uebereinstimmung, die man nach den ältern annehmen durfte. Sie stimmen insofern, als dem Brustton in beiden Fällen die tiefsten,

*) Valentin, Lehrbuch der Physiolog. II. a. §. 3132.

dem Falsett die höchsten Töne angehören; es werden also die ersteren unzweifelhaft in der Stellung erzeugt, welche der Stimmhaut durch die vereinigte Wirkung aller abspannenden Muskeln gegeben werden. — Beide Beobachtungsreihen widersprechen sich aber in einem Punkt, auf welchen Müller und Lehfeldt nach ihren Versuchen den grössten Werth legen mussten, auf die seitliche Ausdehnung nemlich, in welcher die Stimmhäute bei den beiden Registern schwingen.

Neben diesen, auf die Erfahrungen von Lehfeldt, Liscovius, Joh. Müller **) und Garcia gestützten Annahmen, haben noch Andere wie Petrequin und Diday ***), Segond †), Savart, Longet und Masson ††) Angaben über den bei der Fistel- und Bruststimme bestehenden Vorgang gemacht; dieselben sind jedoch, insofern sie nicht ganz widerlegt sind, nur mehr oder weniger annehmbare physikalische Probalitäten.

Petrequin und Diday erläutern die Bruststimme übereinstimmend mit Joh. Müller, die Fistelstimme soll dagegen in nichts anderem als in einer Schwingung der Luft in der Luftröhre und dem Kehlkopf, ohne Beihilfe irgend einer Bandschwingung bestehen. Ihr ganzer Beweis ruht darauf, dass die Fistelstimme einen flötenartigen Klang hat. — Longet und Masson behaupten, dass in der Bruststimme die Luft der Luftröhre und des Kehlkopfs im Zusammenhang schwinge, dass aber in der Fistelstimme sich in der Stimmritze ein Schwingungsknoten bilde, so dass die Luft in zwei gesonderte schwingende Abtheilungen zerfalle. — Segond, welcher, auf Vivisektion an Katzen gestützt, angab, dass die Fistelstimme erzeugt werde durch Schwingungen der oberen Stimmritzenbänder, ist von Longet widerlegt worden.

8. Mittönende Stimmwerkzeuge. Die Luft der Lunge, Luftröhre, Rachen-, Mund- und Nasenhöhle und die elastischen Wände dieser Höhlen üben einen Einfluss auf Klang und Stärke, keinen aber auf die Höhe des Tons. Der Beweiss dafür, dass sie nur mitklingen, lässt sich auf zahlreiche Weise geben; so ändert sich die Höhe eines angegebenen Tons nicht beim Oeffnen und Schliessen des Mundes. Der Ton nimmt an Höhe nicht zu mit der steigenden Verminderung der Luft in der Brusthöhle beim Ausathmen u. s. w. Dagegen verliert er an Klang und Stärke, wenn die Lunge, Rachen-, Nasen- und Mundhöhle pathologische Veränderungen erleiden, ebenso wenn der Kehlkopf verknöchert u. s. w.

Die erwähnten Luftbehälter sind bekanntlich mit Muskeln versehen, durch welche theils das Volum ihres Inhalts und theils die Wandspannung veränderlich wird. An einigen dieser Apparate sind

*) l. c. p. 42.
**) l. c. p. 194 u. f.
***) Gazette médic. 1844. Nr. 8 u. 9.
†) Archiv général. XVII. u XX. Bd. 1845 u. 1849.
††) l. c. 186.

die Nerven dieser Muskeln in eine ähnliche Beziehung zu den wesentlichen Stimmwerkzeugen gesetzt, wie wir sie auch anderswo z. B. an den Augenmuskeln und der Iris finden; unwillkürlich tritt nämlich mit der Erregung der einen Muskelabtheilung auch die einer andern auf. In einer solchen Verkettung mit den eigentlichen Stimmmuskeln [die sich nur zwischen den Kehlkopfknorpeln her erstrecken] scheinen zu stehen mm. thyreo-hyoidei, sterno-hyoidei (?) sterno-thyreoidei, levatores palati mollis, azygos uvulae. — Namentlich nähert sich beim Erhöhen des Tons der Kehlkopf dem in seiner Lage verharrenden Zungenbein und es zieht sich zugleich das Zäpfchen bis zum Verschwinden in den Vorhang (Valentin *)). Umgekehrt aber steigt der Kehlkopf herab, wenn sich der Ton vertieft; der ganze Umfang dieser Kehlkopfsbewegung beträgt von einem halben bis zu einem ganzen Zoll.

Zudem sind wir aber noch willkürlich die Resonanz zu modifiziren im Stande je nach der Stellung, die wir den Lippen, den Zähnen, der Zunge, dem Gaumenbogen u. s. w. geben.

9. Vergleichung des Kehlkopfs mit nahe stehenden musikalischen Instrumenten; Compensation am Stimmorgan. Offenbar steht unser Kehlkopf unter allen Instrumenten keinem so nahe, als der Zungenpfeife (Hoboe, Clarinette, Zungenpfeifen der Orgel etc). In diesen dringt, wie im Kehlkopf, ein Luftstrom gegen eine elastische Platte, welche hierdurch in Schwingungen versetzt wird; in beiden Fällen ist die Platte so gegen den Luftstrom gestellt, dass sie den Stoss desselben je nach der Richtung ihrer Schwingung bald mehr und bald weniger zu hemmen im Stande ist; in beiden Instrumenten wird die Höhe des Tons wesentlich bestimmt durch die Zahl von [mehr oder weniger vollkommenen] Unterbrechungen, welche der Luftstrom bei seinem Hergang an der elastischen Platte durch die Schwingungen derselben erleidet. — Das Stimminstrument zeichnet sich aber durch folgende bemerkenswerthe Eigenschaften von den gewöhnlichen Zungenpfeifen aus. — a) Die schwingende Platte ist keine metallene, sondern eine elastische Membran; weil diese im normalen (ungespannten) Zustand einen niedrigen Elastizitätscoefficienten besitzt, bei Ausdehnungen aber die Spannungen zwischen den Molekeln der Membran sehr rasch wachsen, so ist es möglich Schwingungen von sehr verschiedener Dauer in ihr zu erregen, ohne dass die Länge der Membran beträchtlichen Wechsel bedurfte. —

*) Lehrbuch II. a. p. 388.

b) Das Stimmorgan besitzt verschiedene Mittel zur Veränderung der Tonhöhe, wodurch ihm ein akustisches Ausgleichungsvermögen in einem Grade und einer Ausdehnung zukommt, wie es keinem andern Zungeninstrumente eigen ist. Viele Instrumente zeigen bekanntlich die Eigenthümlichkeit, beim starken Anspruch (heftigem Blasen oder Streichen) einen Ton von grösserer Höhe zu geben, als bei schwachem Anspruche. Dieser Uebelstand, der das Anschwellen eines und desselben Tones vom piano zum forte unmöglich macht, kann durch verschiedene Mittel ausgeglichen (compensirt) werden. — In der That gelingt nach W. Weber's Vorschriften auch die Compensation an Zungenpfeifen aber nur dann, wenn man die Zungenpfeife für einen einzigen Ton einrichtet; hieraus folgt aber die weitere Störung, dass ein Instrument aus gerade so viel Röhren zusammengesetzt sein muss, als es Töne erzeugen soll *). — Einer viel grösseren Vollkommenheit der Compensation erfreut sich nun das Stimmorgan, indem es innerhalb weiter Grenzen durch stetige Correktur zweier spannender Einflüsse jede Tonhöhe bei jeder Luftstärke erzeugt. Die Einflüsse, welche hier compensirend auftreten, sind die Stärke des Luftstosses und die Grösse der Muskelcontraktion in der Art, dass, wenn ein Ton allmälig stärker oder allmälig schwächer angegeben werden soll, die Muskeln in ihrer Contraktion allmälig steigen oder nachlassen, so dass in diesem Fall durch die Muskeln und durch Anblasen gleichzeitig eine Spannungsänderung erwirkt wird, die von gleichem Werth ist, aber im umgekehrten Sinn liegt. — Alle Töne, mit Ausnahme der tiefsten und höchsten, können unter den Einflüssen dieser compensirenden Mittel ab- und anschwellen.

10. Motorische Nerven der Stimmwerkzeuge, Reflexe auf dieselben **).

Die Muskeln des Stimmapparates sind, wie aus dem Vorhergehenden erhellt, sehr zahlreich und auf mannigfache Weise an unserem Körper vertheilt. Ein grosser Theil derselben, wenn nicht alle, sind dafür berechnet, neben der Stimmbildung noch andere Funktionen zu erfüllen, und namentlich sind sie theils Schling- und theils Athemmuskeln. Diese Häufung der Funktionen, welche in

*) Bindseil l. c. p. 222 u. 481.

**) Th. Bischoff, commentatio de nervi accessor. Willisii etc. Darmstadt 1832. — Volkmann, Artikel Nervenphysiologie, Wagner's Handwörterbuch II. Bd. p. 585 u. 589. — Donders u. Moleschott in Henle's Zeitschrift für rat. Med. IV. Bd. 219. — Bernard, Archiv général. 1844 und im ausführlichen Auszug in Valentin's Jahresbericht Jahrg. 1845. 217. — Longet, Recherches experim. sur les fonct. etc. Gazette méd. 1841 und in dessen Traité de physiol. l. c. 147.

ganz verschiedener Stellung zum Hirn und Rückenmarke stehen, macht es wahrscheinlich, dass die Muskeln behufs der Stimmbildung durch Nerven erregt werden, die aus andern Hirntheilen entspringen als die, welche Athem- und Schlingbewegung einleiten. — Diese Vermuthung erhält daran eine Stütze, dass die Muskeln der Stimmritze in der That Nerven, die in ursprünglich verschiedenen Bahnen verlaufen, empfangen, und sie wird fast zur Gewissheit durch die pathologische Beobachtung. Diese letztere lehrt nämlich, dass in Folge von Hirnkrankheiten und zwar ohne irgend eine weitere Störung der Lebenserscheinungen die bisher vorhandene und wohlausgebildete Fähigkeit der Tonbildung erlöschen kann. Die hier in Frage kommenden Kranken können dann noch willkürlich und unwillkürlich die Athem- und Schlingbewegungen verrichten, sie können dagegen weder willkürlich noch unwillkürlich eine Stimme bilden. —

a) Nerven der Stimmhautsteller und Stimmhautspanner.

Die Stimmhautsteller und namentlich mm. thyreo-arytaenoidei, crico-arytaenoidei postici und laterales, arytenoidei proprii erhalten ihre Nerven zunächst aus dem ram. recurrens n. vagi, während der m. crico-thyreoideus denselben aus dem ram. laryngeus sup. empfängt. Nach Bischoff treten durch den n. accessorius die Nervenfäden aus dem Hirn, welche für die Muskeln zur Stellung und Spannung der Stimmritze bestimmt sind; denn er beobachtete nach Durchschneidung aller Wurzelfäden dieses Nerven in der Schädelhöhle vollkommenen Verlust der Stimme. Seine Angaben bestätigt Longet. Volkmann spricht dagegen den Vaguswurzeln einzig und allein die Beherrschung der kleinen Kehlkopfsmuskeln zu. Diesen Widerstreit vereinigt Bernard dahin, dass er behauptet, es verbreiteten sich im ram. laryng. inferior Nervenröhren, welche ursprünglich in den Wurzeln des n. vagus und n. accessorius W. lagen; während zu dem m. crico-thyreoideus nur Nerven aus den Wurzeln des n. accessorius treten sollen.

Bernard behauptet in Uebereinstimmung mit Bischoff, dass dem n. accessorius die Stimmbildung obliege; nach Ausrottung dieses Nerven beobachtete er nicht allein vollkommene Stimmlosigkeit, sondern auch Unfähigkeit, die Stimmritze in einem solchen Grad zu schliessen und ihre Umgrenzungen so zu spannen, wie es die Stimmbildung erfordert. — Ob hierdurch, wie Bernard glaubt, der Beweis geliefert ist, dass der n. accessorius nur Stimmnerv sei, ist um so unwahrscheinlicher, als auch beim Schlingen die Stimmritze nicht mehr in normaler Weise geschlossen werden konnte. — Möglicher Weise waren in den von ihm beobachteten Fällen Stimmritzenverengerer und Spanner vollkommen gelähmt, indem die geringen Verengerungen der

Stimmritze, die er als vorhanden angibt, von elastischen Wirkungen, Luftstössen etc. abhängig waren.

b) Die Nerven für die Muskeln der tonverstärkenden Apparate. — In das Gaumensegel geht nach früherem n. accessorius und n. vagus gleichzeitig; wie sie sich in die Funktionen, die dieser Falte zukommen, theilen, ist unbekannt. — Mm. thyreo-hyoideus und sterno-thyreoideus empfangen ihre Zweige aus dem ram. descend. hypoglossi; wahrscheinlich also aus Halsnerven und Hypoglossuswurzeln gleichzeitig.

c) Die Nerven für die Stimmuskeln des Brustkorbes. — Die Exspirationsbewegungen, deren wir uns bei der Stimmbildung bedienen, zeichnen sich durch ihre grosse Dauer aus, während die gewöhnliche Exspiration sehr rasch beendet ist. — Dieser Modus kann begreiflich entweder durch einen sehr allmäligen Nachlass der Einathmungsmuskeln bedingt sein, so lange sich der Brustkorb bis zu dem Raum verengert, den er gemäss seiner natürlichen Elastizität einnimmt, oder durch eine sehr allmälige Contraktion der Exspirationsmuskeln, wenn er sich über diese Grenze noch verengern soll. Ob für diese Modifikation der Exspirationsbewegung besondere Nerven vorhanden?

Bernard bezeichnet die mm. cucullaris und sternocleidomastoideus als Bruststimmmuskeln und demgemäss als Bruststimmnerven den n. accessorius Willisii, welcher in diese beiden Muskeln eingeht. Dieser dürfte aber keinesfalls der gewöhnliche Bruststimmnerv sein, da sich nur ausnahmsweise diese beiden Muskeln an einer Exspirationsbewegung betheiligen. —

Die reflektorischen Beziehungen unseres Apparates sind wegen der innigen und ganz eigenthümlichen Seelenwirkungen auf denselben schwer zu ermitteln; jedenfalls aber dürfte das Aussprechen des Zweifels am Platze sein, ob jede in Folge der Erregung sensibler Nerven auftretende Stimme ein Beweis dafür sei, dass die Seele einen Empfindungseindruck empfangen habe.

Sprache*).

Die akustischen Eigenthümlichkeiten der Sprache unterscheiden sich weit ab von denen der Stimme. Während das Gebiet der letzteren durch eine musikalische Tonreihe dargestellt wird, besteht

*) J. Müller, Handbuch der Physiologie II. 229. — E. Brücke, Untersuchungen über Lautbildung und das natürliche System der Sprachlaute. Wiener Sitzungsberichte 1849. Märzheft. — Derselbe, Grundzüge der Physiologie der Sprachlaute. Wien 1856. — Donders, Archiv für die holländischen Beiträge. I. Bd. 157. — Czermak, Wiener Sitzungsberichte, Märzheft 1857.

die Sprache aus einer Zahl von besonderen Geräuschen, welche die Schriftsprache durch besondere Zeichen symbolisirt; die Buchstaben sind also gleichsam die Noten der Sprache, welche aber hier keine Tonhöhen, sondern sog. Tonfärbungen andeuten.

1. Allgemeine Bedingungen zur Spracherzeugung.

Die Sprache oder besser die einzelnen zur Sprache gehörigen Laute werden erzeugt, indem die vom Brustkasten eingesogene oder ausgestossene Luft durch die Mund- oder Nasenhöhle hindurchstreicht, während die einzelnen beweglichen Theile derselben, Lippe, Unterkiefer mit der Zahnreihe, Zunge, Gaumen eine gewisse Stellung eingenommen haben oder einzunehmen im Begriff sind. In diesem Sinne bezeichnen die Buchstaben auch gewisse Stellungen der Mundtheile während eines durch dieselben dringenden Luftstroms.

Die allgemeine physiologische Aufgabe, welche sich nach dieser Mittheilung stellt, bestünde darin, anzugeben, wie die Geräusche akustisch definirt werden, und welche Beziehungen zwischen den erzeugten Geräuschen und den erzeugenden Hilfsmitteln bestehen, d. h. warum mit Nothwendigkeit den Stellungen der Mundtheile die hervorgebrachten Laute entsprechen. In dieser allgemeinen Form ist aber unsere Aufgabe noch nicht zu lösen.

Die Sprachbildung ist unabhängig von der Stimmbildung im Kehlkopf, kann aber mit ihr in Combination treten; Flüstern und Lautiren.

Bekanntlich können wir beim Ausstossen der Luft, wenn die Stimmritzenbänder so gestellt sind, dass sie keinen Ton angeben, sprechen; die einzelnen hier gebildeten Geräusche sind vollkommen distinkt, die aus ihnen zusammengesetzten Worte vollkommen verständlich, aber die Sprache ist klanglos, flüsternd. Der besondere Beweis, dass in diesem Fall der Kehlkopf keinen Theil an der Sprache nimmt, liegt darin, dass dieselbe mit gleichen oder wenigstens sehr ähnlichen akustischen Eigenschaften auch beim schwachen Einziehen der Luft, wobei der Kehlkopf gar keinen Ton zu geben im Stande ist, gebildet werden kann. Diese Art zu sprechen, benützen wir nur ausnahmsweise, gewöhnlich aber erzeugen wir die Sprache gleichzeitig mit Sprech- und Stimmwerkzeugen, so dass der gehörte Laut eine resultirende Schallbewegung aus den Wirkungen beider wird. Dass hier aber wiederum die Sprachwerkzeuge den bestimmenden, den Laut charakterisirenden Einfluss üben, ergibt sich daraus, dass, wenn wir alle Laute bei derselben, oder umgekehrt einen Laut bei sehr verschiedenen Tonhöhen sprechen

die Sprache nichts von ihrer Verständlichkeit verliert, wie uns eintönige Gespräche und tonreiche Lieder beweisen.

2. Akustische Bestimmung der Buchstaben. Die Buchstaben (der flüsternden und der lauten Sprache) sind Geräusche und also hervorgegangen aus der Interferenz mehrerer Töne. Die für den einzelnen Buchstaben charakteristischen Töne sind jedoch nur, und auch hier noch unvollkommen für die Vokalgeräusche bekannt. — Die in das Vokalgeräusch eingehenden Töne zerfallen in herrschende und untergeordnete; die erstern sind es, welche man festzustellen sucht. Hierzu gebraucht Donders den flüsternd gesprochenen Vokal, dessen vorherrschenden Ton er mit dem einer Stimmgabel vergleicht. Dabei findet er folgendes: vom *A* aus steigt der herrschende Ton sowohl vom Uebergang durch *Ae* zu *E* als auch durch *Oe* nach *Ue;* von der Höhe des vorherrschenden Tons geht also nicht überwiegend die Bestimmung des Vokalgeräusches aus. — Donders unterscheidet in seiner vorläufigen Mittheilung mehrere Reihen. Die erste geht vom tiefen *U* zum hohen *Ue;* das letztere (zugleich *U* der Holländer und Franzosen) entspricht genau der Oktave vom *a* der Orchester (= 430 Schwingungen), *U* liegt um eine grosse Dezime tiefer. — In der zweiten Reihe bilden *O, Oa, A* einen grossen Dreiklang, *A* ist um einen halben Ton höher als das Normal *a* der Oper, *Oa* um eine kleine Terz, *O* um eine Quinte tiefer. — In einer besondern Reihe ist das *E* und *Oe* enthalten, im *e* stehen zwei herrschende Geräusche, von denen das eine ungefähr um eine Dezime höher ist als das Normal *a.* — Das *Oe* hat einen Hauptton, welcher um 1 Oktave und 1 Quinte höher liegt als das Normal *a,* neben diesem gehen noch hohe Nebentöne. Alle diese Bestimmungen gelten nur für lange Vokale, bei kürzern erheben sich die Töne ein wenig.

Willis baute nach dem Vorgang von Kempelen und Kratzenstein ein Vokalinstrument, und bestimmte aus den Dimensionen der in ihm schwingenden Theile die Höhe des Tones, welcher das Vokalgeräusch bestimmte. So fügte er z. B. in ein Rohr, dass durch Ausziehen verkürzt oder verlängert werden konnte, eine frei durchschlagende Zunge; sprach er die Zunge durch Anblasen an, so konnten, während das Rohr allmälig verlängert wurde, der Reihe nach Geräusche erzeugt werden, welche mit *i, e, a, o, u* Aehnlichkeit hatten. Macht man die wahrscheinliche Voraussetzung, dass der Eigenton des Rohrs, der mit dem der Zunge interferirt, auch der herrschende im Geräusch des gleichnamigen Vokals sei, welcher durch den Mund

erzeugt wird, so lässt sich nach bekannten Grundsätzen die Höhe dieses Tons aus den bekannten Dimensionen des Rohrs finden. Die Angaben von Willis liegen nun zwar mit Ausnahme von *o* und *u* im Allgemeinen in der Richtung derjenigen von Donders, aber sie stimmen nicht im Einzelnen. Nach Donders ist nemlich der bestimmende Ton des *o* tiefer als der des *u*, während Willis das umgekehrte verlangt.

3. Bedingungen zur Bildung der Buchstaben.

Bei der Bildung eines möglich reinen *a* hat das Zungenbein dieselbe Stellung wie in der Ruhe, aber der Kehlkopf ist ihm etwas genähert, die Zunge legt sich auf den Boden der Mundhöhle, der weiche Gaumen, wenig gehoben, schliesst die Nasenhöhle ab, die Mundhöhle kann eine beliebige Form annehmen, doch darf sie nicht zu weit und nicht zu einer runden Oeffnung verengert sein. — Bei *e* erhebt sich das Zungenbein, die Zunge wird dem Gaumen mehr genähert, der weiche Gaumen wird etwas mehr erhoben, alles Andere wie bei *a*. — Bei *i* tritt das Zungenbein noch höher und nach vorn, der Kanal zwischen Zunge und hartem Gaumen wird noch mehr verengert, das velum pendulum wird am meisten gehoben (Czermak). Alles Andere wie bei *e* und *a*. — Bei *o* ist der Kehlkopf dem Zungenbein weniger genähert als bei *a*, *e* und *i*. Die Zunge hinten gehoben, vorn flach, die Mundöffnung bei vorgeschobenen Lippen in Form eines runden Loches verengt. — Bei *u* steht das Zungenbein so hoch als bei *a* und nach vorn wie bei *i*, der Raum zwischen Zungenbein und Kehlkopf ist aber wegen der Senkung des letzteren vergrössert, die Zunge ist den Gaumen hinten stärker genähert als bei *o*, vorn liegt sie flach und die Mundöffnung bildet ein rundes Loch, welches noch enger als bei *o* ist. — Ordnet man die Vocale nach den Zuständen und der Erhebung des Gaumensegels, so folgen sie *a e o u i*, vorausgesetzt, dass man die Reihe beginnt mit dem Buchstaben, bei welchem das Gaumensegel am tiefsten steht und der Nasenverschluss am wenigsten fest ist (Czermak).

Diese fünf Buchstaben stellen die von den Grammatikern so genannten reinen Vokale der germanischen und romanischen Sprachen dar. — Diese Sprachen bedienen sich ausserdem noch Modifikationen derselben, welche hervorgehen a) aus den Stellungen der Mundtheile, die in der Mitte liegen zwischen zwei reinen Vokalen. Hierher gehören Laute, die von dem durchziehenden Luftstrome gebildet werden, nachdem die Sprachwerkzeuge eine Stellung zwischen *e* und *a*, *a* und *o*, *i* und *u*, *e* und *o* und endlich zwischen *a*, *o*

und *e* angenommen haben. b) Bei der den Vokalen entsprechenden Veränderung in der Stellung des Kehlkopfs, des Zungenbeins und der Zunge während unveränderter, in allen Fällen mässig geöffneter Mundhöhle entstehen die sogenannten unvollkommenen Vokale (Vokale der Engländer). c) Aus der den Vokalen entsprechenden Veränderung der Rachen- und Mundtheile mit einer solchen Stellung des Gaumensegels, dass die Luft zugleich durch Mund- und Nasenhöhle streichen kann, bilden sich die Vokale mit Nasenton. Für diese Modifikation ist also die Resonanz der Luft in der Nasenhöhle charakteristisch. d) Gehören zu der Modifikation der Vokale die sogenannten Diphthonge, welche durch den vorbeiziehenden Luftstrom gebildet werden, während die Sprachwerkzeuge aus der Stellung für einen Vokal in den andern übergehen.

Den Antheil, welchen das Gaumensegel an der Bildung der Buchstaben nimmt, beobachtete Czermak*) (nach der Methode von Debrou) theils dadurch, dass er von der Nasenseite einen Fühler auf das Gaumensegel legte und dessen Erhebungen an dem aus der vordern Nasenmündung hervorragenden Ende ablas, theils, indem er den Raum über dem Gaumensegel durch einen in die Nasenhöhle eingeführten Katheter mit Wasser anfüllen liess, während er die Vokale sprach; das Einfliessen des Wassers in die Mundhöhle zeigte das Offenstehen des Gaumenthores an; und endlich durch den Beschlag einer vor die Nasenöffnung gehaltenen Spiegelplatte.

Das *h* wird in dem Kehlkopf erzeugt, wenn ein Luftstrom durch die weit geöffnete, nicht zum Tönen gestellte Stimmritze fährt.

Die Bildung der noch übrigen Laute unseres Alphabets zeigt die Uebereinstimmung, dass die Luft auf dem Wege von der Stimmritze bis zur Mundöffnung einen Verschluss oder eine beträchtliche Verengerung findet, wesshalb sie im Vorbeiströmen ein auffallendes Geräusch bildet, während die Stellung des Zungenbeins zum Kehlkopf keine oder nur unwesentliche Veränderungen erfährt. Man hat sie darum immer auch vorzugsweise als Mundlaute betrachtet. — Nach Brücke kann man sie je nach dem Ort, an welchem sich der Verschluss oder die Verengerung bildet, in drei Gruppen zerfällen, an deren Spitzen die von der Grammatik her bekannten mutae *p*, *t*, *k* stehen.

Die erste Gruppe besteht aus *p*, *b*, *f*, *v*, *w*, *m*; den Verschluss oder die enge Mündung bilden Lippe mit Lippe oder eine der beiden Zahnreihen mit den Lippen. — *p* wird durch ein plötzliches Oeffnen oder Schliessen der vorher festgeschlossenen oder geöffneten Lippen erzeugt (z. B. in *pa* und *ap*), während ein Luftstrom aus dem Kehl-

*) Seine Angaben hat Schuh an einem Kranken, dessen Gaumen von der Nasenseite her bloss gelegt war, bestätigt. Wiener med. Wochenschrift 1858. Januar.

kopf gegen die Mundöffnung dringt; es kann auch mittelst raschen Oeffnens der durch eine Zahnreihe und eine Lippe geschlossenen Mundhöhle bei Vorhandensein des erwähnten Luftstroms erzeugt werden. Der Buchstabe kann mit keinem Ton verbunden werden. — Bei *b* ist alles dem *p* gleich, nur sind die verschliessenden Lippen weniger energisch gespannt und der Verschluss oder das Oeffnen geschieht allmäliger. Aus diesem Grunde kann mit ihm ein Tönen verbunden sein. Kempelen und Brücke stellen darum die Charakteristik von *p* und *b* folgendermaassen: *p* bedeutet Absperrung des Nasenkanals und geschlossene Lippen bei erweiterter Stimmritze; *b* dagegen Absperrung des Nasenkanals und geschlossene Lippen bei zum Tönen verengerter Stimmritze. — *f* wird gebildet, indem wir eine Lippe an die entgegengesetzten Schneidezähne lose auflegen und einen Luftstrom hindurchsenden; *v* (gleich einem milden *f*), indem wir die Lippen lose auf einander legen, so dass eine kleine Oeffnung bleibt, durch die wir hindurchblasen; *w* aber dadurch, dass wir, während wir die Stellung der Lippen zum *f* oder *v* beibehalten, die Stimme mittönen lassen. Das *m* entsteht schliesslich, wenn man die Lippen wie zum *b* stellt und die Luft mit tönender Stimme zur Nase hinausströmen lässt.

Die zweite Gruppe umfasst *t*, *d*, ein hartes und weiches *s*, *l*, *n*. Für diese bildet die Zunge den Verschluss, beziehungsweise die enge Oeffnung mit den Schneidezähnen oder dem vorderen Theil des harten Gaumens. — *t* ist also ein stummer Laut, der gebildet wird, während dem Luftstrom ein Ausweg geöffnet oder geschlossen wird durch Anstemmen der Zunge gegen Schneidezähne und Gaumen (*ta* oder *at*). — *d* entsteht aus *t* wie *p* aus *b*, nur mit dem Unterschied, dass hier die Zunge statt der Lippen allmälig bei tönender Stimmritze den Verschluss öffnet. Das harte *s* bildet sich, wenn bei der dem *t* zugehörigen Zungenstellung eine kleine Spalte geöffnet und durch diese die Luft gestossen wird; das harte *s* aber geht in ein weiches *s* über, wenn man gleichzeitig die Stimme mittönen lässt. — Das *l* entsteht, wenn man den Verschluss mit der Zunge vorn wie bei *t* festhält, dagegen hinten neben den Backzähnen beiderseitig eine kleine Oeffnung lässt, durch welche die Luft hindurchstreicht. — Wird endlich die Zunge wie zum *d* gestellt und bei tönender Stimmritze die Luft zugleich durch die Nase getrieben, so kommt ein *n*.

In die dritte Gruppe gehören *k*, *g*, *ch*, *j* und das sogenannte Gaumen *n* oder *n* nasale. — *k* entsteht wie *p* und *t* nur mit dem

Unterschied, dass der Verschluss durch den hintern Theil der Zunge und des Gaumens gebildet ist. *g* entspricht *d* und *b*; *ch* ist dem harten *s* und *f* entsprechend, indem es ein Reibegeräusch an einer kleinen Oeffnung zwischen dem hinteren Theil des Gaumens und der Zunge darstellt; *j* (dem weichen *s* und *w* entsprechend) bildet sich bei der Zungenstellung zum *ch* und tönender Stimmritze und endlich entsteht ein eigenthümlicher *n* Laut, wenn man bei Stellung der Zunge zum *j* und tönender Stimmritze den Luftstrom durch die Nase richtet.

Von den einfachen Consonanten der Grammatiker bleibt uns noch das *r* übrig; wir erwähnen es hier, weil es als ein Glied aller drei Gruppen aufgeführt werden kann, indem wir ein *r* labiale, linguale und gutturale bilden können. Charakteristisch für seine Bildung ist es, dass wir einen der leichtschwingenden Mundtheile mittelst des Luftstroms in Wellenbewegungen versetzen, deren einzelne Stösse so langsam auf einander folgen, dass wir sie gesondert unterscheiden. — Das *r* labiale entsteht demgemäss, wenn wir unsere Lippen lose wie zum *b* aneinanderlegen und durch den Luftstrom in Bewegung versetzen. — Das *r* linguale ist der hörbare Ausdruck der Vibrationen, in welche die Zunge geräth, wenn dieselbe wie zum *t* gestellt und durch den Luftstrom vom Gaumen abgedrängt wird; das *r* gutturale oder uvulare endlich entsteht durch Schwingungen des Zäpfchens, wenn man die Zunge wie zur Bildung des *ch* stellt, aber in der Mitte entsprechend der Lage des Zäpfchens eine Rinne bildet.

Ausser diesen einfachen Consonanten bildet das menschliche Sprachwerkzeug noch zusammengesetzte, welche entstehen, wenn die Mundwerkzeuge gleichzeitig zwei Stellungen einnehmen, von denen jede für sich der Bildung eines Consonanten entspricht; hierher gehört *sch*. Mit diesen dürfen begreiflich nicht zwei gesondert gesprochene, aber rasch aufeinanderfolgende Consonanten verwechselt werden, was um so leichter geschieht, wenn diese aus Bequemlichkeit von der Schrift in einen Buchstaben zusammengefasst sind, wie das deutsche *z* und das griechische *ξ* und *ψ*.

Um die Betheiligung der Stimmritze an der Bildung der Consonanten zu prüfen, bedient sich Brücke eines kleinen Stethoscops, welches er in den Raum zwischen Zungenbein und Kehlkopf aufsetzt.

Vorstehende fragmentarische Betrachtung der Laute, bei der wir vorzugsweise den ausgezeichneten Beobachtungen von E. Brücke gefolgt sind, kann nur als ein Anregungsmittel zu weiteren Literaturstudien betrachtet werden. Die Beschränkung auf das Gegebene

erschien um so mehr geboten, als sonst auch andere erlernte Fähigkeiten unserer Bewegungsorgane — denn eine solche ist die Sprache — eine Berechtigung zur Besprechung erhielten. Es versteht sich von selbst, dass die rationelle Grammatik den hier abgebrochenen Faden aufnehmen und auf das Gründlichste verfolgen sollte. —

3. Nerven der Sprachwerkzeuge.

Zu ihnen zählen wir den n. facialis, welcher sich in den m. orbicularis oris, die mm. incisivi, m. stylohyoideus und m. digastricus posterior begibt, und den n. hypoglossus, welcher in die Zungenmuskeln, m. geniohyoideus und den m. hyothyreoideus eindringt. — Welcher der Gaumennerven, ob n. vagus, accessorius oder facialis als Sprechnerv des Gaumens aufzufassen sei, bleibt ungewiss.

Ueber die Stellung dieser Nerven zu den Seelenorganen gelten die bei den Stimmnerven erwähnten Bemerkungen um so eher, als das schon vorhandene Vermögen zu sprechen in Folge von Hirnverletzungen zu Grunde gehen kann, ohne dass die Schlingfunktionen der Zunge etc. gelähmt sind.

Fünfter Abschnitt.

Physiologie der Seelenorgane.

Entsprechend den unbedeutenden Hilfsmitteln, die uns zu Gebote stehen für die Untersuchung der vom Hirn ausgehenden Wirkungen und dem Mangel einer genauen chemischen und anatomischen Zergliederung dieses Organs, neben dem nicht auf Beobachtung gerichteten Bestreben der Psychologen, lässt sich nur wenig Thatsächliches über die Seelenerscheinungen mittheilen; besonders wenn man sich vorsetzt, nicht zu einer Aufzählung der mannigfachen Erscheinungen zu schreiten, sondern die denselben zu Grunde liegenden fundamentalen Hergänge zu ermitteln. — In diesem letztern Sinne sind, wenn auch noch sehr mangelhaft, nur die Empfindung, die willkürliche Erregung und der Schlaf angreifbar.

Organe der Empfindung.

1. Die Umstände, durch deren Zusammenwirken die Empfindung entsteht, sind so gut wie unbekannt. Da dem gesunden wachenden Menschen nur dann Empfindungen zu Theil werden, wenn seine Nerven in den erregten Zustand gerathen, so liegt es nahe, die Erregung der Nerven und die Empfindung für gleichbedeutend zu erklären. Eine solche Annahme wäre aber vollkommen fehlerhaft, einmal weil nicht ein jeder erregte Nerv innerhalb des normalen Lebens Empfindung erzeugt, sondern nur eine ganz beschränkte Zahl derselben und insbesondere die drei höhern Sinnesnerven, die grosse Wurzel des fünften und Abtheilungen des neunten, zehnten und elften Hirnnerven und die hintern Wurzeln der Rückenmarksnerven. Aber auch diese Nerven erwecken nur Empfindungen, wenn ihre reelen oder virtuellen Fortsetzungen ununterbrochen durch

das Hirn bis in die Sehhügel und mittleren Lappen der grossen Hemisphären verlaufen. Alle diejenigen der erwähnten Nervenröhren, die abwärts von den genannten Orten eine Unterbrechung ihres Zusammenhangs erlitten haben, verlieren nach den Erfahrungen am Krankenbette damit sogleich ihre empfindungserzeugenden Fähigkeiten, selbst dann, wenn sie zum Zeichen vollkommener Unversehrtheit in der medulla spinalis und oblongata durch ihre Erregung noch Reflexbewegungen einleiten können. Diese letztere Thatsache, dass Reflex, also eine Verknüpfung der Erregung von sensiblen und motorischen Nervenröhren, bestehen kann, ohne dass eine Empfindung daraus wird, widerlegt auch zur Genüge den Verdacht, als ob das physiologische Zusammenwirken der Nervenröhren im Hirn und Rückenmark die Bedingung der Empfindung sei. Die Widerlegung dieser letzteren Probabilität musste aber noch ausdrücklich hervorgehoben werden, weil, wie wir bei den Sinneswerkzeugen gesehen haben, mannigfache Akte der Empfindung, z. B. beim Tasten, dem Sehen in bestimmter Richtung, Entfernung und Ausdehnung u. s. w. in der That nur unter dem Zusammengreifen der Erregungszustände eines motorischen und eines sensiblen Nerven geschehen. Somit muss jenseits der erwähnten Hirnstellen, sei es in den Lappen oder Commissuren, noch etwas zu dem erregten Nerven hinzutreten, damit sich die Empfindung bilde. Für die Richtigkeit dieser Annahme bürgt uns nun auch die Jedermann bekannte Thatsache, dass wir den Erregungszustand eines sensiblen Nerven nur so lange und in dem Grade empfinden, als wir ihm die Aufmerksamkeit zuwenden; tausende von Lichtstrahlen, die sich zu Bildern auf der Retina ordnen, und tausende von Schallwellen, die in das Labyrinth unseres Ohres dringen, werden von uns nicht gesehen oder gehört, wenn unsere Aufmerksamkeit mit aller Macht einem ernsten Gedanken, einer schwierigen Muskelbewegung, einer Geschmack- oder Hautempfindung u. dgl. zugewendet ist.

Die nur um ein Weniges weitergehende Zergliederung der Empfindungsakte gibt nun auch zu erkennen, dass sich jede Empfindung noch mit etwas ganz besonderem verknüpft, nämlich mit der Vorstellung. Denn niemals empfinden wir den erregten Nerven im Hirn, sondern ausserhalb desselben und zwar, wie bei allen Sinnen erwähnt wurde, nach gewissen Richtungen und Ausdehnungen hin. Diese unter allen Umständen der Empfindung beigefügten Zusätze können aber, wie es scheint, ganz unmöglich begriffen werden aus der Nervenerregung.

Hält man mit dieser zuletzt hervorgehobenen Thatsache zusammen, dass dieselben Erregungszustände der Nerven bei Menschen von verschiedener Ausbildung Empfindungen von verschiedenen Eigenthümlichkeiten erwecken, und gar dass der Mensch im Traum, in der Trunkenheit, in sogenannten Geisteskrankheiten und dgl. ohne die entsprechenden Nervenerregungen zu den lebhaftesten Empfindungen gelangt, die man gemeinhin mit dem Namen der Traumbilder, der Visionen, Halluzinationen und dgl. belegt, so könnte es fast scheinen, als sei die Empfindung etwas von dem Nerven insofern unabhängiges, als zu ihrer Entstehung die Nervenerregung gar nicht nothwendig sei, sondern die Nerven selbst nur eine der möglichen Veranlassungen zur Empfindung abgeben, mit einem Worte dieselbe nur erregen.

Will man also die Bedingungen der Empfindung aufzählen, so muss man offenbar auch anzugeben im Stande sein, worin dieses im Hirn neu hinzutretende oder angeregte bestehe; gerade das ist aber unmöglich.

Die gewagten Annahmen, mit denen man sich gewöhnlich behilft, sind nicht im Stande Jemanden zu befriedigen, der in strenger Weise der Physiologie obliegt. Zu ihnen gehört z. B. die eines Seelenatoms; diese scheinbar einfache Annahme, mehr entsprungen aus der mathematischen Anschauung des Differentials, als der des physikalischen Atoms, macht aber bei genauer Durchführung unzählige, ganz ungerechtfertigte Hilfshypothesen nothwendig, wie z. B. die Annahme mannigfacher Zwischenorgane zwischen Nerven und Seele, damit man die Befähigung des Nervenrohrs zu spezifisch verschiedenen Empfindungen begreife, je nachdem dasselbe aus dem Auge oder dem Ohr u. s. w. kommt, oder um den Einfluss des Schlafs, der Gifte, der Uebung und dergleichen auf die Empfindung erklärlich zu machen. Man würde den kaum errungenen Boden des Thatsächlichen wieder preisgeben, wenn man auf die Vorstellung von dem Seelenatom, das seine Existenz auf geradem Wege auch nicht einmal wahrscheinlich machen kann, und dessen Annahme, wie erwähnt, zahllose complizirte Hilfshypothesen verlangt, noch genauer eingehen wollte. — Ebenso ungerechtfertigt ist aber auch die Annahme, dass die Nervenröhren und Ganglienkugeln oberhalb der Sehhügel empfinden sollen; denn unterhalb derselben vermögen sie es doch nicht.

2. Der eben gegebenen Darstellung gemäss wird die nächste Aufgabe der Wissenschaft einzig darin bestehen können, Wege ausfindig zu machen, auf denen man unserem Problem durch den Versuch näher tritt. Da wir nun den Empfindungsakt des wachenden gesunden Menschen vorläufig zerlegt hatten in einen dem Hirn eigenthümlichen und einen den Nerven angehörigen Hergang, so wird der allgemeinsten Untersuchungsmethode gemäss zunächst darauf zu denken sein, den einen der Faktoren nach allen Richtungen hin veränderlich zu machen, während der andere unveränderlich

erhalten wird. — Die Variation der von den Nerven ausgehenden Wirkungen ist nun aber in mehr oder weniger vollkommener Art zu ermöglichen, indem man nach Belieben verändern kann: die Zahl und die Art der gleichzeitig erregten Nervenröhren, die Stärke, die Zeitdauer und die Geschwindigkeit des zeitlichen Wechsels der Erregung innerhalb derselben oder ihrer inneren Natur nach verschiedenartiger Nerven. — Viel schwieriger, ja meist unmöglich dürfte es dagegen erscheinen, auf ähnliche Weise auf die bei der Empfindung betheiligten Vorrichtungen des Hirns zu wirken, sei es, dass man sie veränderlich machen oder unveränderlich erhalten wollte; da wir seine Leistungen nur am bewussten urtheilsfähigen Menschen zu prüfen im Stande sind, so finden sie sich nicht allein den unberechenbaren Einflüssen ausgesetzt, die aus dem Verlaufe des leiblichen Lebens (Blutzusammensetzung, Blutdruck, Wärme u. s. w.) fliessen, und die Nachrichten, die wir über ihre Funktionirung erhalten, sind nicht allein abhängig von den Gewohnheiten, Uebungen und Ermüdung der Urtheilsfähigkeit, sondern wir vermögen auch nicht nach Willkür und namentlich nicht innerhalb kurzer Zeit nach Belieben Umänderungen an ihnen hervorzubringen. — Trotz alledem ist jedoch die Hoffnung auf eine Besiegung dieser Schwierigkeiten nicht aufzugeben. Denn wir wissen einerseits, dass bei dem gesunden wachenden Menschen die Gewohnheit, Uebung u. s. w. die empfindenden Hirntheile niemals jenseits gewisser Grenzen zu ändern vermögen, so dass dieselben, je nachdem sie geübt oder ungeübt wären, einen bestimmten Zustand des Nerven ganz abweichend empfänden, z. B. das Blaue für gelb oder umgekehrt ansehen; anderseits aber sind wir auch vermögend durch Einführung von Giften in das Blut, wie z. B. von Aether, Alkohol, Opium, Lustgas u. dgl., Veränderungen in den empfindenden Hirntheilen zu erzeugen, die bei allen Menschen etwas Gemeinsames darbieten und zudem nicht immer die Nerven in merkbarer Weise aus ihren normalen Zuständen zu bringen vermögen.

Diese thatsächlichen Andeutungen für den Gewinn einer Untersuchungsmethode sind aber um so fester zu halten, und ihre Weiterbildung um so mehr zu versuchen, weil in dieser Richtung die einzige Möglichkeit zu liegen scheint, Aufschlüsse zu erhalten nicht allein über die Erscheinungslehre der Empfindung, sondern auch über die den empfindenden Hirntheilen zu Grunde liegenden elementaren Bedingungen, und dieses letztere um so mehr, wenn die Aufhellung des anatomischen und chemischen Hirnbaues gelingen sollte,

indem wir dann möglicher Weise durch vielleicht complizirte, aber sichere Schlüsse den wahren Vorgang der Hirnvergiftung, die Folgen der Blutdrücke u. s. w. auszumitteln vermöchten. Gelänge es aber nicht den angedeuteten Weg zu betreten, so dürfte man überhaupt die Hoffnung aufzugeben haben, in dieses dunkle Gebiet einzudringen.

Dieses Ziel hat nun auch in der That den bessern Physiologen und unter diesen vor Allen dem unsterblichen E. H. Weber vorgeschwebt; das was sie in dieser Richtung geleistet haben, ist schon zum grössten Theil bei den Sinneswerkzeugen und dem Muskelsinn mitgetheilt worden. Ergänzend ist nur noch folgendes beizufügen.

3. Wenn eine grössere Zahl von Nervenröhren gleichzeitig und zwar bis zu einer solchen Stärke erregt wird, dass die Empfindung die Bildung von deutlichen Vorstellungen über den Ort und die Art der Erregung erlaubt, so können gleichzeitig nicht alle, sondern nur einzelne der erregten Nerven empfunden werden. — Wir haben schon erwähnt, dass sich Fälle ereignen, in welchen keiner der erregten Nerven zur Empfindung kommt, und erwähnt, dass dieselben eintreten, wenn die Erregung zu einer Zeit geschieht, in welcher der Mensch in leidenschaftlichen Zuständen sich befindet, oder mit der Bildung von ergreifenden Gedanken oder der Ausführung von schwierigen Muskelbewegungen beschäftigt ist. Diese allbekannte Thatsache drückt man gewöhnlich populär so aus, dass die Aufmerksamkeit vermögend sei, sich von den empfindungserzeugenden Einflüssen wegzuwenden. Dieser Ausdruck bedarf jedoch insofern der Vervollkommnung, als sich die Aufmerksamkeit nur dann wegzuwenden vermag, wenn sie sich andern Dingen zuwendet. Denn es gelingt, wie man an sich selbst leicht bestätigen kann, einzig und allein unter den obigen Bedingungen empfindungslos zu werden. Befindet sich aber der Mensch in der That in dem empfindlichen Zustand, so wird aus der grössern Summe der erregten Nerven nur der eine oder andere wirkliches Objekt der Empfindung. Welcher unter den Nerven das Uebergewicht erhält, scheint aber bedingt zu sein entweder durch die grössere Erregung eines derselben, so dass der thätigere den weniger thätigen aus der Empfindung verdrängt, oder von den jeweiligen geistigen Zuständen, indem je nach Gewohnheit oder nach den gerade gegenwärtigen Gedankenbildungen einer der Nerven die Oberhand behält, selbst wenn er unter allen der am wenigsten stark erregte ist. — Die Zahl der gleichzeitig, innerhalb sehr beschränkter Grenzen, zur Empfindung kommenden Primitivröhren hängt von dem gerade vor-

handenen Hirnzustande ab. Namentlich kann bis zu einem gewissen Grade die Summe der zur Empfindung kommenden beschränkt werden, indem man in der That z. B. aus vielen gleichzeitig das Ohr treffenden Tönen, oder aus vielen in die Retina gelangenden Lichtstrahlen nur einen oder einige zur Empfindung bringen kann. Wie weit diese Vernachlässigung der erregten Nervenröhren im Allgemeinen zu gehen im Stande ist, ist unbekannt; denn wenn es in der Retina auch scheint, als ob man vermögend sei, nur ein Rohr, mit Hintenansetzung aller übrigen, zu empfinden, so ist es mindestens zweifelhaft, ob für das Ohr etwas Aehnliches gelingt. Offenbar beschränkt ist aber das Hirn in der gleichzeitigen Aufnahme von Empfindungen, indem jedesmal, wenn wir unsere Aufmerksamkeit zugleich auf zwei Sinne lenken, nur die Eindrücke des einen der beiden wirklich empfunden werden; diese Behauptung ist durch scharfe Zeitbestimmungen des sogenannten subjektiven Fehlers derjenigen astronomischen Beobachtung erwiesen, bei welcher man mittelst Zählen der Pendelschläge eines Uhrwerks den Zeitpunkt, in welchem ein Stern vor dem Fadenkreuz des Fernrohrs erscheint, festzustellen sucht. In diesem Falle notirt kein Beobachter, und sei er in dieser einfachen Operation auch noch so geübt, genau die Zeit, in welcher der Stern in der That in das Fadenkreuz tritt, sondern immer eine spätere. — Andere Versuche über diese wichtige Erscheinung fehlen, namentlich ist zu erledigen, mit welchen Umständen die Geschwindigkeit des Uebergangs der Empfindung von einem zum andern Nervenrohr wechselt.

4. Wird eine grosse Zahl von Nerven dagegen bis zu dem Grade der Schmerzerzeugung erregt, so gelangt die Gesammtsumme derselben zur Empfindung, und zwar in der Gestalt, dass mit Vermehrung der erregten Nervenröhren die Intensität der Empfindung steigt. Dieser Satz leitet sich nicht allein aus der bekannten Erfahrung ab, dass eine Lichtquelle, deren Strahlen das halbverdeckte Auge gerade noch ertragen kann, sogleich auf das heftigste blendet, wenn man sie mit dem ganz geöffneten Auge ansieht, sondern auf eine noch viel schärfere Art aus den Beobachtungen an den Hautnerven von E. H. Weber. Heisses Wasser erzeugt nämlich um so heftigere Schmerzen, in je grösserer Ausdehnung dasselbe die Haut trifft. Diese Summirung der Erregungen der einzelnen Nervenröhren in dem Hirn geschieht aber nicht unter allen Umständen gleich leicht, indem die Ausbreitung der Erregung über benachbarte Hautstellen die Empfindung beträchtlicher steigert, als wenn gleich-

zeitig weiter von einander entfernte gleichgrosse und gleichnervenreiche Stellen der Einwirkung der heissen Flüssigkeit ausgesetzt sind. —

Hier ist nun noch einmal auf viele bei den Sinnen schon abgehandelte Punkte, mit der ausgesprochenen Absicht, sie den experimentirenden Psychologen zu empfehlen, hinzuweisen; wie z. B. auf die Thatsache, dass die Empfindung der Grösse von gesehenen Gegenständen auf einem Quotienten oder einer Differenz beruht, welche gebildet wird aus der Summe gleichzeitig erregter Sehnervenfasern und der Erregungsintensität der Nerven für den Einrichtungsapparat des Auges und den m. rectus internus bulbi; denn es nahm ja die Grösse des gesehenen Gegenstandes zu mit der Summe gleichzeitig erregter Opticusröhren und ab mit der Stärke der Erregung der erwähnten Muskeln. — Ferner, dass der Ort und die Richtung des Gesehenen, Gehörten und Gefühlten bedingt war von dem Orte des gleichzeitig erregten Empfindungs- und Muskelnerven. — Ferner, dass die Vorstellung von der Intensität einer beliebigen Empfindung in der Erinnerung rasch absinkt nach dem Aufhören der Nervenerregung, welche sie erweckte, wie aus dem bemerkenswerthen Versuche von E. H. Weber über relative Grössenschätzung hervorgeht u. s. w. — Bevor nicht diese und ähnliche tiefgreifende Erscheinungen genau zergliedert und durch weitere Versuche in's Klare gesetzt sind, lässt sich an einen theoretischen Fortschritt der Empfindungslehre nicht denken.

Willkürliche motorische Erregung *).

1. Unserem Hirn wohnt das Vermögen bei, eine bestimmte Zahl von Muskel- (und Drüsen?) Nerven aus dem physiologischen Ruhestand in den der Erregung zu versetzen und umgekehrt vermag es die aus andern Gründen (durch Reflexe) erregten Nerven zu beruhigen. Dieses Vermögen zu erregen und bestehende Erregung zu dämpfen geht der Thatsache des Bewusstseins gemäss, scheinbar von ein und derselben Substanz aus, und was noch merkwürdiger, es scheint die Unterbrechung einer bestehenden Bewegung oder ihre Einleitung von derselben Art der Kräfte abzuhängen; denn der Thatsache des Bewusstseins nach sind wir es, welche ein bis dahin ruhiges Glied

*) J. Müller's Physiologie. II. Bd. 63 u. f. — Debrou in Longet Traité de physiologie I. Bd. III. fascic. p. 57.

bewegen und die in ihm vorhandene Bewegung hemmen, und wir machen hierzu ein und dieselbe Kraftanstrengung. Noch auffallender aber, es kann der Grad der Bewegungsanregung oder Bewegungshemmung nach Belieben bestimmt werden, so dass auf dieselbe äussere Anregung hin jeder Grad von Muskelcontraktion, oder jede mögliche Geschwindigkeit in der Reihenfolge der Zusammenziehung der einzelnen Muskeln eintreten kann. — So hingestellt scheint das Vermögen ausser den Grenzen aller Analogie mit anderen Naturvorgängen zu liegen; aber gerade diese Entfernung von aller Analogie wird den Physiologen vorerst nur zu der Annahme bestimmen, dass die zur Erläuterung der Erscheinung gegebene Theorie vollkommener Freiheit ebenso mangelhaft ist, als die Darstellung der Erscheinungen selbst; und aus eben diesem Grunde wird er es auch verschmähen, durch andere, leicht zu findende, zum Theil plausible Unterstellungen, die Annahme zu bekämpfen, welche die Hirnfunktionen ganz unnöthiger Weise als ausserhalb der Naturgrenzen stehend ansieht.

2. Der Willkürbewegung sind nur eine beschränkte Zahl von Muskeln und Drüsennerven unterworfen und zwar in ganz verschiedener Weise.

a) Unbeschränkt der Willkür unterworfen sind, wie es scheint, die inneren Augenmuskeln, die mimischen Gesichtsmuskeln, die der Zunge, die Strecker und Beuger der Wirbelsäule und des Kopfes, das Zwerchfell (?) und die Muskeln der Arme und Beine. Diese Muskeln können in jeder beliebigen Reihenfolge, in jeglicher gleichzeitiger Verbindung miteinander und zu jeder beliebigen Zeit gehemmt oder bewegt werden.

b) Eine andere Zahl von Muskeln ist nur unter gewisser Combination mit andern der Willkür unterthan, z. B. die Iris nur mit den Accommodationsmuskeln und den inneren und oberen Augenmuskeln; ferner die beiden mm. recti bulbi externi nicht gleichzeitig, wenn die Erregungsstärke einen gewissen Grad übersteigt; ferner der m. hyothyreoideus nur beim Schlingen oder Tonangeben, der tensor tympani beim Kauen, die constrictores pharyngis nur beim Schlingakt; gemeinsam auf beiden Seiten nur die Muskeln des larynx, pharynx, des Gaumensegels und Perinäums.

c) Eine dritte Zahl endlich ist nur in gewissen (sogenannten leidenschaftlichen) Zuständen der Willkür unterworfen. Hierher zählt die Herzhemmung oder Beschleunigung bei Angst oder Spannung, die Durchfälle nach Angst, die Erektion des Penis durch den

Geschlechtstrieb, die Thränenabsonderung beim Kummer, die Speichelabsonderung bei Esslust u. dgl.

Die unter den beiden letzten Buchstaben erwähnten Muskeln und Akte bedürften einer genauen Aussonderung. Hier wäre auch Rücksicht auf die Hirnzustände zu nehmen, in welchen nur einzelne von den unbeschränkt der Willkür unterworfenen Bewegungsapparaten dem Willen vollkommen gehorchen, während andere vorübergehend ganz ausgeschlossen sind, wie beim Nachtwandlen, Alpdrücken u. s. w.

3. Niemals können alle der Willkür unterworfene Muskelnerven gleichzeitig durch dieselbe in Erregung versetzt werden; die Zahl der möglicher Weise gleichzeitig erregbaren Nerven ist jedoch unbekannt (Joh. Müller).

Zuerst scheint die Erfahrung dafür zu sprechen, dass man niemals weniger Nervenröhren gleichzeitig zu erregen im Stande ist, als soviel sich zu einem geschlossenen Muskel begeben, da Niemand, so weit bekannt, nur einzelne Bündel eines solchen isolirt bewegen kann. — Ferner scheint es, dass sich bei den bedingt willkürlichen Bewegungen jedesmal die Anregung über eine grössere Zahl von Nerven erstrecken müsse, da man niemals das Auge nach innen stellen kann, ohne die Pupillenverengerer in Wirksamkeit zu bringen, niemals, ohne zu speicheln, kaut u. s. w., und niemals in der Freude oder Angst den Veränderungen der Herzbewegungen Einhalt zu thun vermag. — Complizirtere Muskelakte dagegen können nie gleichzeitig von der Willkür in Anregung gebracht werden; wenn man sie in der That gleichzeitig ausführt, indem man z. B. gleichzeitig schreibt und spricht u. dgl., so werden die einzelnen nöthigen Bewegungen dennoch nicht gleichzeitig veranlasst, wie eine genauere Selbstbeobachtung lehrt; diese gibt namentlich Aufschluss, wenn beide oder eine von beiden Bewegungen noch nicht geläufig sind; man erkennt dann deutlich, dass die Anstösse zu den Bewegungen aufeinander folgen, indem die gleichzeitige Ausführung dieser letzten unmöglich ist; man vergisst, um in einem gebräuchlichen Ausdruck zu sprechen, die eine der Bewegungen über die andere. Aus dieser Thatsache darf man schliessen, dass die bei späterer Geläufigkeit der Bewegungen eintretende Gleichzeitigkeit derselben dadurch bedingt ist, dass die erregende Ursache fortlaufend den Erregungsort wechselt und zwar so rasch, dass noch ehe die durch den Anstoss derselben veranlasste Bewegung zur Ruhe gekommen ist, schon wieder ein Anstoss zu einer neuen Bewegung erfolgt. Inwiefern zu dieser Hypothese die Einrichtungen in den Muskeln berechtigen, ist schon früher erwähnt. — Jeden-

falls scheint man aber zu weit zu gehen, oder besser gesagt, Unbewiessenes auszusprechen, wenn man auf diese Thatsache fussend, die Behauptung aufstellt, es könne niemals die Willkür mehr als eine oder wenige Primitivröhren in Erregung setzen; um auch die ebenerwähnten widersprechenden Beobachtungen hiermit in Einklang zu bringen, legt man die Hypothese unter, dass entweder die gleichzeitig erregbaren Röhren in eine einzige verschmelzen, so dass je ein Muskel nur mittelst einer Primitivröhre an der Hirnstelle vertreten sei, an der er die Erregung empfängt; oder man nimmt an, dass in Folge von Querleitungen die Bewegung des einen Muskels eine Mitbewegung von der ursprünglich durch die Willkür erregten eines andern sei. Beide Annahmen sind vollkommen willkürlich. — Sehr bemerkenswerth ist noch die bekannte Erfahrung, dass man durch stetige Uebung es dahin bringt, Nervenröhren isolirt in Anregung zu setzen, die man ursprünglich nur in Verbindung mit andern erregen konnte, und dass man in Zuständen geistiger Trübung (wie in der Trunkenheit) dieses erworbene Isolationsvermögen wieder verliert. So versetzen ungeschickte Menschen und ganz allgemein Kinder, wenn sie eine bestimmte Bewegung beabsichtigen, noch viele Muskeln, die zum vorgesetzten Zwecke gar keine Beziehung haben, in den zusammengezogenen Zustand, namentlich verzerren Viele beim Greifen mit dem Arm nach gewissen Richtungen die Gesichtsmuskeln u. s. w.

4. Wie rasch kann der Uebergang der willkürlichen Erregung von einem Nerven zum andern wechseln? Kann man mit grösserer Geschwindigkeit zwei weniger intensive Bewegungen auf einander folgen lassen, als zwei kräftigere? Sind gewisse Muskelgruppen in rascherer Zeitfolge in Anregung zu setzen, als andere? Diese und andere ähnliche Fragen sind oft aufgeworfen, aber noch keinmal durch gründliche Versuche beantwortet.

5. Besondere Schwierigkeiten bietet die Erläuterung der Erscheinung, dass es dem willkürlich erregenden Vermögen, ohne eine Vorstellung von der anatomischen Lagerung der Nervenröhren im Hirn und ihrer zugehörigen Muskeln zu besitzen, gelingt, nach in ihm wohnenden Bestimmungen bald diesen oder jenen im Voraus gewussten Bewegungseffekt einzuleiten. Soweit unsere in diesem Punkt noch unvollkommene Kenntniss zu schliessen erlaubt, geschieht dieses dadurch, dass dem erregenden Prinzip durch Erfahrung allmälig die Zustände oder auch die Richtungen, die die Erregung nehmen muss, bekannt werden, welche zu einer bestimmten Bewe-

gung nothwendig sind. Diese Erfahrungen sammelt aber das Bewusstsein durch die Sinnesnerven; denn jede Bewegung eines Gliedes wird durch die im Gliede selbst oder in einem andern Sinne (Auge oder Ohr) erweckten Empfindungen wahrgenommen, indem nun das besondere Bewegungsbestreben und die jene Bewegung begleitenden Erregungen im Gedächtniss bleiben, gelingt es allmälig die Bewegungen nach Belieben hervorzurufen.

Der Beweis für diese Auffassung liegt darin, dass *a)* der Säugling nur sehr allmälig den Gebrauch seiner Glieder kennen lernt; *b)* dass wenn ein Sinn, der den Menschen einzig und allein über gewisse Bewegungseffekte unterrichtet, ausfällt, diese Bewegungen selbst der Willkür nur sehr mangelhaft unterthan werden, w. z. B. nach Gehörmangel keine reine Stimme im musikalischen Wortsinn sich bildet; *c)* endlich aber weist auf die stetige Mitwirkung der sinnlichen Erfahrung zur willkürlichen Muskelerregung die Thatsache hin, dass wir den Grad der Zusammenziehung irgend welcher Muskeln stetig nach den besondern sinnlichen Eindrücken (oder auch nach Erinnerungen an dieselben) bemessen. So gehen wir im Dunklen auf uns unbekanntem Boden unsicher; wir richten die Muskelkontraktion für einen Steinwurf auf einen gesehenen Gegenstand nach dem Grade der Schärfe unseres Augenmaasses ein u. s. w.

6. Die Kraftsumme, welche der muskulöse Apparat des menschlichen Körpers unter dem Einfluss des willkürlich erregenden Prinzips entwickelt oder zu entwicklen vermag, kann unter günstigen Umständen einen sehr beträchtlichen Werth erreichen. Diese Thatsache gab in früherer Zeit zu der Meinung Veranlassung, dass die erregenden Hirntheile selbst grosse Kräfte entwicklen, indem man glaubte, dass alle die Kräfte, welche von unsern Muskeln zur Bewegung des Skelets oder der an dasselbe angehängten Gewichte, und zur Ueberwindung von allen den Widerständen, die in den Muskeln und in den Skelettheilen der Bewegung entgegentreten, verwendet werden, von den willkürlich erregenden Hirntheilen geradezu auf die Bewegungswerkzeuge übertragen würden. Es ist diese Annahme, so weit die Erfahrungen reichen, mit vollkommnem Recht in ihr Gegentheil umgeschlagen. Wir glauben jetzt, auch ohne die von den erregenden Hirntheilen direkt entwickelbaren mechanischen Kräfte gemessen zu haben, behaupten zu dürfen, dass die in jedem kleinsten Zeittheil entwickelten erregenden Kräfte des Willens sehr klein sind. Diese Behauptung ergibt sich augenblicklich, wenn man sich die Art des Aufbaues und Zusammenhangs der Muskeln und Nerven in das Gedächtniss ruft. Muskeln und Nerven waren Gebilde, die auf eine sehr verwickelte Weise zusammengesetzt waren, und zwar aus Stoffen, welche bei ihrer Umsetzung beträchtliche mechanische Kräfte frei

machten. Zugleich waren diese Stoffe innerhalb der genannten Gebilde unter solchen Bedingungen enthalten, dass es nur unbedeutender Veranlassungen bedurfte, um die Zersetzungen einzuleiten. Denn wir erfuhren ja, dass Einflüsse von kaum mehr messbaren mechanischen Effekten die sogenannten Erreger, die Muskel- und Nervenkräfte auslösen konnten. Die Zusammenordnung der Muskeln und Nerven hatte aber in der Art statt, dass sich die Erregbarkeit der Gebilde vom Muskel durch den Nervenstamm bis in das Rückenmark fortwährend steigerte. Denn es wurde durch dasselbe Erregungsmittel ein geringer Effekt erzeugt, wenn es geradezu auf den Muskel, ein grösserer, wenn es durch den Nervenstamm, und ein noch beträchtlicherer, wenn es durch das Rückenmark auf den Muskel wirkte. Auch war noch dazu festgestellt worden, dass nur innerhalb sehr beschränkter Grenzen mit der steigenden Stärke des Erregers die entwickelten Muskelkräfte wuchsen, so dass, wenn einmal ein gewisser, meist sehr niedriger Grad der Erregerstärke erreicht war, eine weitere Erhöhung derselben keine Steigerung der Muskelkräfte bedingte. Da nun das willkürlich erregende Prinzip die Muskelzusammenziehung von einem sehr geringen bis zu einem beträchtlichen Werth steigern kann, so muss dasselbe, wenn es nicht vollkommen sinnlos angelegt ist, sehr geringe motorische Effekte irgend welcher Art (Stösse oder Anziehungen) entwicklen. So gering sie aber auch sein mögen in jedem Augenblick, so beträchtlich muss die Summe der im Verlauf der Zeiten entwickelten Anregungen werden. Zu einer weiteren Definition der Kräfte des willkürlich erregenden Prinzips scheint nur noch hinzugefügt werden zu können, dass ihr Maximalwerth mit gewissen körperlichen Zuständen schwankt.

Die Kraft, die irgend eine willkürliche Muskelbewegung entwickelt, resultirt, wie sich nach dem Vorigen von selbst versteht, aus den ursprünglich in den Nerven und Muskeln gespannten Kräften und verändert sich ausserdem mit der Energie, deren die Willenserregung fähig ist. Zum Studium der offenbar in der letzteren eintretenden Schwankungen der Erregungsfähigkeit würde es natürlich nöthig sein, den Antheil der beiden ersteren Apparate an der resultirenden Bewegungskraft bestimmen zu können, was aber noch zur Zeit ganz unmöglich ist. — Jedenfalls sind aber die Fälle unsere Aufmerksamkeit zu fesseln geeignet, in welchen die Fähigkeit zu Bewegungen sehr abnimmt, obwohl kein Grund zu der Annahme vorliegt, dass die Nerven oder Muskeln eine Schwächung ihrer Kräfte erlitten haben; wir zählen hierher die Ermüdung nach geistigen Anstrengungen, nach einer plötzlichen Gemüthsbewegung, nach dem Genuss von Opium u. s. w. Da in einzelnen dieser Beispiele das erregende Prinzip durch seine Thätigkeit seine Kräfte verzehrt, — wie nach längerem Nachdenken — oder in der Ausübung derselben durch Gegenwart eines chemisch wirksamen Stoffes gehindert

wird; da ferner durch eine angemessene Ruhe die Fähigkeit zur Kraftentwickelung wiederkehrt, so liesse sich der Zusammenhang der Erscheinungen so deuten, dass das willkürlich erregende Prinzip von Ernährungs-, resp. chemischen Veränderungen in seinen Kraftentwicklungen abhängig wäre. Liesse sich diese Vermuthung zur Gewissheit erheben, so würde ein beträchtlicher Schritt zur Erkenntniss des räthselhaften Vermögens geschehen sein.

7. Mit dem Worte Uebung bezeichnet man Beziehungen zwischen dem willkürlich erregenden Prinzip und den Nerven, die denen analog sein mögen, welche man zwischen Empfindung und Nerven mit dem Namen der Gewohnheit belegt. — Durch häufige Einwirkungen der willkürlichen Erregung auf einzelne Bewegungsnerven geschieht es, dass die den letztern zugehörigen Muskelbewegungen eine grössere Kraft gewinnen; da die Erregbarkeit durch öftere Thätigkeit der Muskeln und Nerven desselben wächst, so kann die Erscheinung ungezwungen hiervon abgeleitet werden. — Durch Uebung werden aber auch die Muskeln befähigt, mit grösserer Geschwindigkeit in zeitlicher Reihenfolge in Contraktion zu gerathen, und ausserdem wird die Möglichkeit der gleichzeitigen Bewegung verschiedener Muskeln durch Uebung verändert. — In ersterer Beziehung ist es eine tägliche Erfahrung, dass Bewegungen, welche äusserst langsam auf einander folgten, als sie zuerst unternommen wurden, später, nach häufiger Wiederholung, mit der grössten Geschwindigkeit hintereinander geschehen. Das gleichzeitige Nebeneinander der Bewegungen betreffend, so können durch Uebung sowohl eine Anzahl scheinbar angeborner Combinationen gelöst, als auch neue, früher unmögliche eingeführt werden. Beide Vermögen, das der Vereinzelung und das des gleichzeitigen Eintretens, haben aber eine wohlgezogene Grenze, über welche hinaus die Uebung nicht mehr wirkt.

Für das Vermögen der Isolirung und neuen Combination dienen als Beispiele die Erfahrungen, dass man durch Uebung die einzelnen Finger gesondert beugen, ferner dass man gleichzeitig nach zwei verschiedenen Richtungen Arme und Beine rotiren lernt u. s. w. — Ob es gelingt, die Sonderung in der Bewegung auch auf einzelne Muskelbündel auszudehnen, oder gar die Accommodations- oder Irisbewegung von der des Bulbus zu sondern, oder aus dem Schlingakt einzelne Muskeln auszuscheiden etc. ist sehr problematisch. Ganz überraschend und unheimlich ist die Erscheinung, dass gewisse Combinationen der Bewegung, wenn sie öfter wiederholt wurden, endlich gegen den Willen geschehen. Die Richtigkeit der Beobachtung steht bei der Schwierigkeit derselben noch in Frage. Denn wer kann wissen, ob nicht ein Zucken der Gesichtsmuskeln, oder gar Krämpfe u. dgl., welche man als Folgen der Angewöhnung ansieht, doch Folgen eines besonderen Hirnleidens sind?

Sitz der Seele.

Die Apparate, welche die Bedingungen der seelischen Leistungen enthalten sollen, werden verschieden gedeutet. Nach der einen Gruppe der Hypothesen liegt den geistigen Funktionen eine besondere Substanz, die Seele, zu Grunde, welche dem Lichtäther ähnlich, zwischen den wägbaren Massen der Hirnsubstanz schwebt, und mit dieser so verkettet ist, dass ihre Veränderungen mit derjenigen der Hirnsubstanz Hand in Hand gehen, wie das auch der Physiker vom Lichtäther und den ihn umgebenden Stoffen annehmen muss. Damit aber diese Hypothese alle Erscheinungen erläutere, verlangt sie den nicht mehr naturwissenschaftlich zu rechtfertigenden Zusatz, dass der Seelenäther aus innern Gründen (willkürlich) veränderlich sei. — Die Anhänger der zahllosen Abstufungen realistischer Weltanschauung haben sich, insofern sie sich überhaupt zur Bildung einer Vorstellung entschliessen konnten, darüber geeinigt, dass die Seelenerscheinungen resultiren aus einer gewissen Summe im Hirn und Blut enthaltener Bedingungen, weil mit dem Entstehen, der Entwicklung und dem Vergehen des Hirns und mit dem Wechsel in der Blutzusammensetzung Verstand, Empfindung und Wille kommen, schwinden oder sich ändern. Wer den Schluss aus Analogien gelten lässt und durch seine Kenntnisse befähigt ist zu gründlichen Vergleichungen der Seelenerscheinungen mit den übrigen Naturereignissen, wird, wenn er wählen muss, nicht zweifelhaft sein, welcher von beiden Meinungen er beistimmen soll; wer aber einen unumstösslichen Beweis für eine der beiden Anschauungen verlangt, wird eingestehen, dass er noch nicht geliefert sei.

Die Wege, die man versucht, um den Sitz der Seele zu finden, haben bis dahin noch nicht so weit geführt, um die Gründe für die eine oder die andere Alternative zu erbringen. Ueberhaupt scheint man sich aber nur zwei Fragen, insofern dieselben überhaupt hierher gehörig sind, vorgelegt zu haben; namentlich ob die sämmtlichen Seelenerscheinungen von einer und derselben Substanz ausgehen, und welcher Ort des Hirnes es sei, an dessen wohlerhaltenes Bestehen die Seele sich knüpft.

1. Empfindung, willkürliche Erregung der Bewegungsnerven und Gedankenbildung sollen nach gewöhnlicher Annahme von einer und derselben Substanz ausgehen. Zu ihr glaubt man sich berechtigt: a) Weil das Bewusstsein sagt, dass dasselbe einfach die drei besonderen Funktionen erfülle. Diese Thatsache erscheint

aber so lange nichtssagend, als man nicht ermittelt hat, welche Stellung das Bewusstsein zu den drei Funktionen einnimmt, indem sich denken liesse, dass sie in dasselbe fallen, ohne mit ihm identisch zu sein. Diese letztere Unterstellung erhält sogar aus den Traumerscheinungen einige Wahrscheinlichkeit, indem hier unsere eigenen Empfindungen und Vorstellungen uns als absolut äussere erscheinen, die wir z. B. fragen. b) Die Identität soll ferner daraus hervorgehen, dass innerhalb gewisser Grenzen die drei Funktionen sich ausschliessen, wie man bekanntlich über eifriges Denken das Bewegen oder Empfinden, oder über eifriges Empfinden das Denken oder Bewegen u. s. w. vergisst. Wie wäre es aber dann zu erläutern, dass beim Sehen von körperlichen Dingen, beim Tasten u. s. w., wobei sich Bewegung und Empfindung combiniren, diese beiden Akte in eine Vorstellung zusammenfliessen? c) Endlich soll der Beweis der Identität durch die Ermüdung geliefert werden, welche im Empfinden oder im Bewegen nach dem emsigen Denken, oder im Denken und Bewegen nach emsigem Empfinden u. s. w. eintritt. Dieser Satz beweist aber wenig, so lange man nicht den Einwurf beseitigt, dass möglicher Weise die drei Organe aus derselben Quelle ihre Nahrung ziehen u. s. w.

Zudem steht der Hypothese eine ganz unlösbare Schwierigkeit entgegen. Wie wir schon wiederholt bemerkten, liegen nirgends Gründe vor, die uns bestimmen konnten, eine wesentliche Verschiedenheit in den empfindenden und bewegenden Nervenröhren anzunehmen. Und wenn diese nicht besteht, woher soll denn die Verschiedenheit in der Resultirenden der Gegenwirkungen der gleichartigen Nerven und der gleichartigen Seele erläutert werden? — Diese Schwierigkeit mahnt uns, wenigstens daran zu denken, dass das, was man Seele nennt, ein sehr complizirtes Gebilde sei, dessen einzelne Theile in einer innigen Wechselbeziehung stehen, vermöge deren die Zustände eines Theils sich dem Ganzen leicht mittheilen.

2. Zu den Bedingungen, an deren Vorhandensein sich die Seelenerscheinungen knüpfen, gehört unzweifelhaft das normale Bestehen des grossen Gehirns; denn dorthin laufen alle der Empfindung und Willkürbewegung untergebenen Nervenröhren zusammen; dazu kommt, dass ausgebreitete Verletzungen des grossen Gehirns sogleich die Seelenthätigkeiten in ausgesprochenerer Weise vernichten, als die eines jeden andern nervösen oder irgendwie sonst gebauten

Organs. Der besondere Ort des grossen Organs aber, in dem die Seelenerscheinungen vor sich gehen, ist unbekannt.

Alle Methoden*) zur Ermittelung des Sitzes der Seele leiden an zwei Grundfehlern. Wenn man, wie es jedesmal geschieht, aus dem Wegfall des einen oder andern Hirntheils und einem entsprechenden Mangel geistiger Leistungen einen Schluss auf den ursächlichen Zusammenhang beider macht, so bleibt zu wünschen übrig: a) Ein sicheres Reagens für die Gegenwart oder Abwesenheit der geistigen Erscheinungen. Schon in der Beurtheilung über die Gegenwart der Empfindung macht sich das geltend, indem man darüber streitet, ob die Empfindung ihren Sitz in den Grosshirnlappen oder der Brücke habe. Nach Exstirpation der ersteren leiten selbst Säugethiere (noch mehr aber Vögel) auf heftige Erregung der Sinnes- und namentlich der Hautnerven sehr complizirte Muskelbewegungen ein, die viel Aehnlichkeit mit Schmerzensbewegungen zeigen, während nach Exstirpation der Brücke (unter Zurücklassung der Pyramiden, Oliven u. s, w.) diese complizirten Bewegungen (Schreien, Zusammenfahren u. s. w.) wegfallen. Warum ist aber zur Erzielung dieser Bewegungen Empfindung nöthig? Warum sind das nicht complizirte Reflexbewegungen? Ebenso unmöglich als sie eben war, wird eine Antwort auf die Frage, ob ein höheres geistiges Vermögen weggefallen sei oder noch bestehe. Wer sieht dem Chloroformirten an, dass er noch auf die sanfteste Art träumt, während seine sonst so empfindlichen Nerven zerschnitten werden. Wer steht uns also dafür, dass sich nicht eine Taube, der man die Grosshirnlappen wegnahm oder der Cretin, dem sie in der Entwickelung verkümmert sind, in ganz gleichem Zustande befinde. — b) Sollte aber in der That der Ausfall einiger oder aller geistiger Erscheinungen auch erwiesen sein, so müsste nun erst noch dargethan werden, in welcher besondern mehr oder weniger direkten Beziehung das fehlende und zerstörte Organ und das mangelnde Seelenvermögen zu einander stehen. Sucht man sich hiervon nicht genau Rechenschaft zu geben, so wird man nothwendiger Weise in den Fehler der alten Psychiatriker zurückfallen, den Sitz der bestimmten Seelenvermögen in Organen zu suchen, die doch nur entfernter Weise und nur unter einzelnen günstigen Umständen die Seele zur Entwickelung derselben stimmen konnten. Der Unterschied zwischen dem Fehler der Aelteren und dem der Neueren wird nur darin liegen, dass die Aelteren den Sitz ihrer sogenannten Seelenkräfte ausser dem Hirn (z. B. in das Herz, die Leber etc.) versetzten, während sie die Neueren in das Hirn an Orte setzen, wohin sie nicht gehören. — Zu diesen allgemeinen Fehlern zeigt nun jede einzelne Verfahrungsart noch besondere.

α) Die vergleichend anatomische Methode geht von dem Prinzip aus, die verschiedenen Thiere sowohl in Rücksicht auf ihre geistigen Leistungen zu vergleichen, als auch in Rücksicht auf die absolute und relative Grösse ihres Hirns und auf das Vorkommen, die Ausbildung und die besondere Gestaltung einzelner Formen. — Hätte sie in der That auf diesem etwas schwierigen Wege ermitteln wollen, welchen Einfluss die Massen und Formen des Hirns auf die Entwickelung der geistigen Fähigkeit ausüben, so hätte sie begreiflich auch noch angeben müssen, von welchem Einfluss alle anderweitigen Umstände sind, die bei verschiedenen Thieren verschieden sich vorfinden. — Den Versuch hat sie nicht gewagt und wird ihn nicht wagen. Zudem

*) Longet, Traité de physiologie. II. Bd. 2. fasc. p. 35. u. f. — Lebert in Virchow's Archiv III. 524.

sind nun aber auch die Vergleiche zwischen den geistigen Fähigkeiten ganz werthlos, ohne einen Maassstab für dieselben.

β) Die Excisionsmethode gibt vor, aus dem Unterschied der geistigen Fähigkeit vor und nach dem Ausschneiden eines Hirntheils auf den Werth dieses Hirntheils für die Entwickelung der geistigen Fähigkeiten schliessen zu können. — Dieses Versprechen würde sie halten, wenn sie ein lebendes Hirn so zerstückeln könnte, dass sie nur die beabsichtigte Verletzung anbrächte. — Da sie aber neben der Entfernung dieses oder jenes Stückes noch in allen andern den Blutlauf stört, sie abkühlt, erschüttert, unter andere mechanische Spannungen bringt u. s. w., so fehlt jede Entscheidung darüber, ob der Ausfall dieser oder jener Funktion von der Entfernung des Hirnstücks oder von einer der vielen Nebenverletzungen herrührt.

γ) Die pathologische Beobachtung. Die Beobachtung solcher Menschen, die an mehr oder weniger ausgedehnten, angeborenen oder erworbenen Verstümmlungen des Hirns, ohne Beeinträchtigung des Lebens, leiden, liefert endlich ebenfalls ein Merkmal, aus dem man auf die Betheiligung einzelner Hirntheile an den geistigen Fähigkeiten Schlüsse zieht. Diese Beobachtungen gewähren, wie es scheint, häufig den Vortheil, ganz isolirte Hirnzerstörungen in ihren Wirkungen bemessen zu können; die Wirkungen aber selbst sind theils augenfälliger, theils schärfer festzustellen, weil sie sich an geistig hochstehenden, deutlich selbst bewussten Organismen äussern, die noch dazu meist längere Zeit hindurch der Beobachtung unterworfen sind. Und dennoch sind die auf diesem Wege gewonnenen Resultate einander so widersprechend. Rührt das von mangelhafter Beobachtung oder davon, dass die bisherigen Schlussfolgerungen vollkommen fehlerhaft waren?

So mühelos hier eine treffende Kritik ist, so schwer wird es sein, durch Anbahnung treffender Mittel und Wege den Zustand dieses Theils der Wissenschaft zu verbessern.

Die Resultate, welche die erwähnten Methoden geschaffen haben, sollen noch erwähnt werden, weil dieses dazu beitragen wird, ihre Mängel noch eindringlicher zu machen.

Grosshirnlappen. Alle drei Methoden häufen scheinbar Wahrscheinlichkeiten dafür, dass Seelenthätigkeiten und namentlich die höheren in Beziehung stehen zur Ausbildung der Grosshirnlappen. Denn mangelhafte Entwickelungen, Verkümmerung in seiner Ernährung, Ausschneiden derselben bei Tauben, sind häufig von Stumpfsinn begleitet. — Aber diesen zahlreichen Thatsachen stehen andere entgegen, indem grosse Massen der Grosshirnlappen bei Menschen durch angeborene Eigenthümlichkeit fehlten, oder auch durch Verwundungen, Blutaustritte, fremde Geschwülste u. s. w. zerstört wurden, ohne dass auch nur die geringste Abweichung von den normalen geistigen Funktionen eingetreten wäre; wenn eine nothwendige Verknüpfung zwischen Seele und den Grosshirnlappen bestünde, so wäre das letzte Resultat unmöglich, denn es ist begreiflich eine ganz vage Redensart, wenn man behauptet, dass die nach Verletzungen zurückgebliebenen Stücke die Funktionen der entfernten übernommen hätten. — Der Widerspruch könnte sich dann lösen, wenn etwa nur einzelne Regionen des Grosshirnlappen mit dem Seelenvermögen in Verbindung stünden; man hat dieses in der That behauptet, indem eine Zahl von Autoren vorzugsweise die vordern, eine andere aber vorzugsweise die hintern Lappen als die Träger der Seele ansahen. Der Widerspruch in den Meinungen rührt daher, dass die einen nur Geistesstörung mit Vernichtung der vordern, nicht aber mit Vernichtung der hintern Lappen

sahen, während andere gerade die umgekehrten Fälle beobachteten; dieser Widerspruch in den Beobachtungen genügt zur Widerlegung der einen oder andern Hypothese.

Grosshirncommissuren, insbesondere der Balken. Nach Zerstörungen und Verletzungen derselben und namentlich der unteren Commissuren tritt gewöhnlich rasch der Tod ein; öfter aber überleben die Kranken lange die Folgen, namentlich von Balkenverletzungen; es sind auch Fälle beobachtet worden, in welchen ein angeborener Mangel des Balkens vorhanden war. Viele der sogenannten Seelenthätigkeiten, namentlich das Selbstbewusstsein, die Empfindung und willkürliche Bewegung, waren nicht gestört, häufig aber die Denkfähigkeit; und auch diese nicht immer. Dazu kommt, dass dieses Vermögen oft beeinträchtigt ist ohne jegliche Kränkung der Commissuren.

Kleines Gehirn. Wegen der Seltenheit des gleichzeitigen Vorkommens von Geistesstörung und Kleinhirnleiden, hat man nur sehr vereinzelt die Hypothese gewagt, das kleine Hirn als ausschliesslichen Sitz der geistigen und namentlich der höheren geistigen Vermögen anzusehen; man hat dagegen nach dem Ergebniss von Vivisektionen und pathologischen Beobachtungen sich für berechtigt gehalten anzunehmen, dass hier der Sitz der Empfindung, des willkürlichen Verbindungsvermögen der Muskelnerven zu geordneten Bewegungen (des Gehens u. s. w.) und der niederen geschlechtlichen Leidenschaften zu suchen sei. Alle diese Hypothesen sind widerlegt durch sehr zahlreiche Fälle von Verletzungen und durch einen sehr bemerkenswerthen Mangel des kleinen Gehirns, in welchem alle die dem kleinen Gehirn zugeschriebenen Funktionen ungehindert von Statten gingen.

Brücke. Vögel, namentlich Tauben überleben die Ausschneidung der Grosshirnhemisphäre längere Zeit; sie erweisen sich dann noch, wie es scheint, empfindlich, indem sie nach heftigem Geräusche zusammenfahren, nach Lichteindrücken noch das Auge schliessen u. s. w. Nicht minder beobachtet man bei Kaninchen nach Exstirpation des ganzen Gehirns bis auf die Brücke und das verlängerte Mark noch heftige Angstschreie, wenn man ihnen den n. trigeminus kneift. Diese Thatsachen benutzt Longet, um zu behaupten, dass die Brücke das Empfindungsvermögen bewirke. Diese Behauptung würde, wenn sie erweisbar wäre, von ausserordentlichem Interesse sein, indem man daraus, und wohl mit Recht, einen Schluss auf die zusammengesetzte Natur der Seele machen könnte. Aber die Erfahrungen am Menschen widerlegen Longet vollkommen; denn wie oft wird durch Blutextravasate (Schlagflüsse), die in das Dach der Seitenventrikel geschehen, die Empfindlichkeit einzelner Glieder gelähmt, obwohl die gelähmten Nerven von den Gliedern aufwärts noch in vollkommener Verbindung mit der unverletzten Brücke stehen.

So wenig Sicheres diese Thatsachen geben, das steht fest, dass keins der Organe, die wir erwähnt, so ohne Weiteres die Seelenfunktion entwickelt, wie etwa ein Muskel zwei Knochen gegeneinander bewegt u. s. w.

Schlaf. Traum *).

1. Die wesentlichsten der vielfachen und ihrem innern Zusammenhang nach wahrscheinlich sehr verschiedenen Erscheinungen, welche man mit dem Namen des Schlafs belegt, dürften sich folgendermaassen zusammenfassen lassen:

*) Purkinje, Wagner's Handwörterbuch III. Bd. 2. Abth.

a) Die gegenseitigen Beziehungen zwischen den Sinnesnerven und der Seele sind vorübergehend gelöst, während die Seele ihre Fähigkeit zur Gedankenbildung und die Möglichkeit ihrer Einwirkung auf alle oder einzelne Muskeln bewahrt hat. Zu dieser Art des Schlafs gehört das sogenannte Nachtwandlen, das Sprechen im Schlaf u. s. w. In vielen dieser Fälle scheint jedoch auch die Funktion der Gedankenbildung bis zu einem gewissen Grade beeinträchtigt; ob in allen Fällen, ist sehr zweifelhaft.

b) Die gegenseitigen Beziehungen zwischen der Seele und den Muskelnerven sind gelöst, es besteht dagegen noch die Fähigkeit zur Gedankenbildung und die Einwirkung der Sinnesnerven auf die Seele. Diese sehr häufige Form des Traums erreicht im sogenannten Alp ihren ausgebildetsten Typus, in welchem man sehr lebhaft von unangenehmen Empfindungen bedrückt wird, ohne die Fähigkeit zu besitzen, Bewegungen, die man selbst für hilfreich hält, ausführen zu können. Die bestehenden Erregungen, wie der Druck eines Kleidungsstückes oder ein Ton u. dgl., werden auf den richtigen Ort der Erregung (die gedrückte Stelle), in einer dem Erregungszustand des Nerven (als ein bestimmter Ton, eine angenehme oder unangenehme Hautempfindung etc.) entsprechenden Weise empfunden, sie geben aber gewöhnlich zu andern Gedankencombinationen Veranlassung und werden namentlich von dem Verstande andern Ursachen, als während des Wachens zugeschrieben.

c) Die gegenseitigen Beziehungen zwischen der Seele einerseits und den Muskel- und Sinnesnerven andererseits sind gelöst, es bleibt dagegen noch das Vermögen der Gedankenbildung erhalten. Der Grund, aus welchem die Nerven den seelischen Einflüssen entzogen sind, darf nicht in einer Abschwächung oder gar einer Vernichtung der Erregbarkeit der Nerven gesucht werden, weil es sehr leicht gelingt, durch Einwirkungen der bekannten Erregungsmittel auf die Sinnesnerven die entsprechenden Reflexe zu erzielen; Lichteindrücke auf die Retina bedingen Iriscontraktionen, sanftes Bestreichen der Handfläche oder Achselhöhle u. s. w. lösen Muskelbewegung der Hand oder des Oberarms aus u. s. f. — Nach fast allgemein übereinstimmenden Angaben sind in diesem Zustande aber auch die höheren Seelenerscheinungen (die Bildung der Gedanken und Vorstellungen) wesentlich abweichend in ihrer Erscheinung von denen des Wachens. Denn 1. die Vorstellungen sinnlicher Gegenstände erhalten den Charakter der Empfindung (Phantasmata), d. h. man glaubt die Gegenstände und Personen, welche man sich im

Traume vorstellt, zu sehen, zu hören, zu fühlen und zu schmecken. Sehr bemerkenswerth ist es, dass Blinde, vorausgesetzt, dass sie sich während der ersten Jahre ihrer Lebzeit des Augenlichtes erfreuten, nur im Traume die Täuschung, sehen zu können, geniessen. 2. Das Bewusstsein, dass die Gedanken und Vorstellungen von uns ausgehen, ist zum Theil verschwunden; wir legen bekanntlich unsere eigenen Gedanken den gesehenen Phantasmen unter, und sind oft überrascht, sehr geistreiche und scheinbar völlig fremde oder wenigstens fernliegende Bemerkungen aus dem Munde der Phantasmen zu hören. 3. Den Schlüssen, welche wir bilden, fehlt die Logik, obwohl wir das Bedürfniss zur Bildung von Urtheilen besitzen. 4. Die Gedanken treten meist in sehr raschem Wechsel auf, können nicht willkürlich festgehalten, noch weniger auf einen bestimmten Punkt gerichtet werden, und entschwinden sehr leicht dem Gedächtniss.

d) Endlich soll es Zustände vollkommener Loslösung der Seele von Bewegungs- und Empfindungsnerven und gleichzeitigen vollkommenen Stillstandes in der Gedankenbildung geben. Diese Behauptung wird von allen Psychologen sehr eifrig bestritten, welche die Seele als ein absolut einfaches Wesen ansehen, welches die Bedingungen seiner Thätigkeit in sich selbst trägt. Die Controverse lässt sich leider nicht erledigen, da wenn wir uns auch häufig keiner Träume aus einem tiefen Schlafe erinnern, damit die Gegenwart von Träumen nicht widerlegt ist, die keine Erinnerung zurückliessen.

2. Von den nächsten Bedingungen zum Eintritte des Schlafes, d. h. von den Hirnzuständen, die unmittelbar den Schlaf darstellen, ist uns nichts bekannt; kaum dass wir einige Veranlassungen zum Schlaf kennen. Zu diesen zählen wir a) Anstrengungen der willkürlichen Erregung, der Empfindung und des Denkens. b) Monotone Erregungen oder Abwesenheit der Erregungen des Nerven und des Denkvermögens, z. B. ruhige ausgestreckte Lage im Halbdunkel, Lesen in gleichgiltigen Büchern etc. c) Gewisse chemische Veränderung des Bluts, z. B. Anhäufung von CO_2 oder Gegenwart von Aether, Opium u. s. w. im Blute. — Noch weniger sind uns die Bedingungen bekannt, die den Uebergang der vorhin aufgezählten Formen des Schlafes ineinander, der leicht und häufig vorkommt, bewirken.

Die Einflüsse, welche den Schlaf in das Wachen zurückführen, sind zuerst die entgegengesetzten der eben angeführten, wie z. B. lebhafte Vorstellung, kräftige Sinneseinwirkungen. Ausser diesen

wirkt aber auch erweckend die Dauer des Schlafes selbst, indem wahrscheinlich die vom Blute aus eingeleiteten chemischen Veränderungen die Bedingungen zum Schlaf aufheben; ferner verhindern den Eintritt des Schlafes eine Anzahl chemischer Körper, wenn sie in das Blut eingetreten sind, wie z. B. Kaffee.

4. Die schon aufgezählten wesentlichen Erscheinungen des Schlafes werden meist, oder können wenigstens begleitet werden von besondern Symptomen in Abtheilungen des Nervensystems, die in entfernten Beziehungen zur Seele stehen. Dahin gehört eine Verlangsamung der Athemzüge, des Herzschlags, der Darmbewegung, der Speichel- und Thränenabsonderung. Ob nun dies Zurücktreten der physiologischen Funktion dieser nervösen Gebilde von ähnlichen Bedingungen abhängt, als die Ruhe der seelischen Gebilde, oder ob diese Erscheinungsreihen nur eine Folge des Schlafes der nächsten Umgebungen der Seele sind, bleibt dahingestellt. Das Letztere ist nicht unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, dass die Nerven im Schlaf ihre Fähigkeit zu reflektorischen Bewegungen, als auch ihre Erregbarkeit nicht einbüssen.

Aus diesen Nervenwirkungen, den wesentlichen sowohl als accessorischen, fliessen nun weiterhin viele Folgen für den schlafenden Organismus, die in einem vollkommenen Bild des Schlafes noch aufgenommen werden müssten, wie Veränderung in dem Respirationsprocess, der thierischen Wärmebildung, der Ernährung einzelner Gewebe u. s. w. Die Veränderungen dieser Processe sind um so wichtiger, als mit Wahrscheinlichkeit gerade hierdurch die wohlthätigen kräftigenden Wirkungen des Schlafes herbeigeführt werden. Sie können aber erst unter den Abschnitten: Kreislauf des Blutes, Respiration, Muskelernährung, thierische Wärme u. s. w. behandelt werden.

Bayerische Staatsbibliothek München

Gedruckt bei E. Polz in Leipzig.

Titel fleckig
Chm.

C. Walte

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Ludwig, Carl,

Lehrbuch der Physiologie des Menschen

Bd.: 1

Heidelberg u.a. 1858

Anat. 279 ua-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10368845-2